

T.C.

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HASSAS DÖKÜM İÇİN SERAMİK KALIPLARIN
HAZIRLANMASINDA OTOMATİK
SİSTEMLERİN İNCELENMESİ VE
GELİŞTİRİLMESİ**

Deniz SİNAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

GEBZE

2010

T.C.

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HASSAS DÖKÜM İÇİN SERAMİK
KALİPLARIN HAZIRLANMASINDA
OTOMATİK SİSTEMLERİN İNCELENMESİ
VE GELİŞTİRİLMESİ**

Deniz SİNAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI**

GEBZE

2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.12.2010 tarih ve 2010/4.1... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/12/2010 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Deniz SINAN'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç.Dr. Fehmi ERZİNCANLI

ÜYE

: Prof.Dr. Metin USTA

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr. İlyas KANDEMİR

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : HASSAS DÖKÜM İÇİN SERAMİK KALIPLARIN HAZIRLANMASINDA OTOMATİK SİSTEMLERİN İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

YAZAR ADI : DENİZ SİNAN

Döküm tekniğiyle üretim çok eski zamanlardan bu yana yapılmaktadır. Malzemelerin döküm yoluyla üretilmesi için zaman içerisinde gereksinimlere göre birçok teknik geliştirilmiştir. Bu geliştirilen teknikler sayesinde, üretim sonucunda oluşması istenilen karakteristik özelliklerin sağlanması, uygun bir döküm tekniği seçilerek gerçekleştirilebilmektedir.

Bu tekniklerden biri olan hassas döküm yoluyla üretim eski çağlara uzanmasına rağmen, endüstriyel bazdaki üretim tekniği olarak kullanılması yakın bir geçmişi kapsamaktadır. Temel anlamda proses ilk keşfedildiği zamandan bu yana aynı kalsa da, modern teknolojilerle birleştirildiği zaman, konvansiyonel üretim teknikleriyle elde edilen ürünlerin oluşturamayacağı düzeyde imalatlar gerçekleştirilebilmektedir.

Bu tekniğin en büyük dezavantajı ise üretim süresinin diğer endüstriyel yöntemlere göre çok uzun olmasıdır. Bu sürenin kısaltılması için gerçekleştirilmesi gereken yatırımlar ise çok pahalı olmaktadır. Bu iki etken ve proses aşamalarının uzun olması bu tekniğin yaygınlaşmasını engellemektedir.

Bu çalışmada, hassas döküm prosesi, proses aşamaları, üretimde kullanılan malzemeler ve malzemelerin nitelikleri, seramik kalıp oluşturmak için kullanılan makineler ve teknikler hakkında bilgi verilmiş olup, prosesin en uzun kısmı olan seramik kalıp oluşturulması kısmını sağlayan yeni bir makine tasarımı yapılmıştır. Bu sayede prosesin en uzun kısmının kısaltılarak sürecin kısaltılması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hassas döküm, hassas döküm prosesi, seramik kalıp, makine tasarımı

SUMMARY

**SUBJECT : RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTOMATIC
SYSTEM FOR PREPARING CERAMIC MOLD FOR INVESTMENT
CASTING**

AUTHOR : DENİZ SİNAN

Technique of Manufacturing by casting method is based on antique time. A lot of casting methods have been developed to meet the requirements in time. These developed technics provide some characteristic specialities in consequence of manufacture, that can be actualized by choosing the right technic.

Investment casting which is one of the developed technique in time, has been using as an industrial technic in the recent past even though it is based on antique time. Process of investment casting is nearly same from invention time to now . When it is combined with modern technology, manufacturing that can't be manufactured conventional production technics can be done.

The biggest disadvantage of investment casting is long manufacturing time, when it is compared other production technics. Investments for reducing process time can cost very expensive. Because of these two issues and its too long process time is the main reasons why investment casting is not so popular.

In this thesis, some knowledge is given about investment casting process, process levels, material of manufacturing and specialities of materials, used machine and technics to manufacture ceramic molds, and a machine is designed to reduce time that is the longest time of shell mold process. Thus, it is aimed to reduce process time that is the longest time of process level

Keywords : Investment casting, Investment casting process, Ceramic Shell mold, Machine desing

TEŞEKKÜR

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği yüksek lisans programında değerli bilgilerini bizlerle paylaşan bölüm öğretim üyelerine, tez konusunu araştırmamda değerli fikir ve tecrübeleri ile beni yönlendiren Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI' ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam esnasında bana verdikleri manevi destekten dolayı aileme ve desteklerini eksiltmeyen dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. HASSAS DÖKÜM	5
2.1. Model Materyalleri	6
2.1.1. Mumlar	7
2.1.2. Katkı Malzemeleri	10
2.1.3. Dolgu Malzemeleri	11
2.1.4. Mum Seçimi	13
2.1.5. Plastikler	14
2.1.6. Diğer Kalıp Malzemeleri	15
2.2. Model Yapımı	15
2.2.1. Mum Modellerin Enjeksiyonu	16
2.2.2. Plastik Modellerin Enjeksiyonu	17
2.2.3. Konvansiyonel Yöntemlerle Mum Modelin Elde Edilmesi	17
2.2.4. Mum Modelin Oluşturulmasında Kullanılan Silikon ve Poliüretan Kalıplardaki Distorsiyonun Karşılaştırılması	18
2.3. Model ve Model Salkımının Oluşturulması	18
2.3.1. Model Montajı	19
2.3.1.1. Mum Bileşenler	19
2.3.1.2. Polistren Model Parçalar	20
2.3.1.3. Otomasyon	20
2.3.2. Model Salkımının Oluşturulması	20
2.4. Seramik Kalıbın Üretimi	22
2.4.1. Kalıp Refraktörleri	23
2.4.1.1. Silika	23

2.4.1.2. Zirkon	24
2.4.1.3. Alüminyum Silikatlar	26
2.4.1.4. Alümina	26
2.4.2. Bağlayıcı Malzemeler	26
2.4.2.1. Koloidal Silika	27
2.4.2.2. Etil Silikat	28
2.4.2.3. Hibrit Bağlayıcılar	28
2.4.2.4. Likit Sodyum Silikat	29
2.4.2.5. Diğer Bağlayıcı Malzemeler	29
2.4.3. Diğer Malzemeler	29
2.4.3.1. Nemlendirici Elemanlar	29
2.4.3.2. Köpürtmeyen Bileşikler	29
2.4.3.3. Çeşitli Bileşenler	30
2.4.4. Seramik Çamuru Formülasyonu	30
2.5. Seramik Çamurunu Hazırlama ve Kontrol	33
2.5.1. Hazırlık	33
2.5.2. Kontrol Prosedürü	33
2.5.3. Model Salkımının Hazırlanması	34
2.5.4. Kaplama ve Kurutma	35
2.6. Seramik Ana Yolluğun Oluşturulması	38
2.6.1. Kendiden Şekillendirilmiş Ana Yolluklar	38
2.6.2. Önceden Oluşturulmuş Çekirdek Yapılar	39
2.7. Modelin Çıkartılması	40
2.7.1. Otoklav Yardımıyla Mumun Ayırıştırılması	41
2.7.2. Hızlı Ayırıştırma	41
2.7.3. Sıvı Ayırıştırma	41
2.8. Seramik Modellerin Pişirilmesi	42
2.9. Eritme ve Döküm	43
2.9.1. Eritme Ekipmanları	43
2.9.2. Döküm Yöntemleri	45
2.10. Bitirme İşlemleri	47
2.10.1. Seramik Kalıbın Kırılıp Çıkarılması	48
2.10.2. Kesip Ayırma İşlemleri	48

2.10.3. Çekirdek Yapıların Çıkarılması	49
2.10.4. Isıl İşlem	49
2.10.5. Aşındırıcılarla Temizlik	49
2.10.6. Çeşitli Operasyonlar	50
2.11. Hata Tespiti ve Test Etme	51
2.12. Hassas Dökümün Dizayn Avantajları	51
2.12.1. Zorluklar	51
2.12.2. Alaşım Seçimindeki Özgürlük	52
2.12.3. Yaklaşık Ölçüsel Toleranslar	52
2.12.4. Prototip ve Geçici Takımlama Özelliği	53
2.12.5. Güvenilirlik	53
2.12.6. Geniş Uygulama Alanı	53
2.13. Tasarım Gereksinimleri	53
2.14. Uygulamalar	54
3. SERAMİK KABUK KALIPLARIN İMALATI İÇİN ENDÜSTRİDE KULLANILAN MAKİNE VE YÖNTEMLER	58
3.1. Seramik Çamur Tankları	58
3.2. Toz Kaplama Üniteleri	62
3.2.1 Akışkan Yataklı Kumlama Ünitesi	62
3.2.2 Toz Yağmurlama Üniteleri	64
3.3. Kurutma	67
3.3.1. Kurutma Zamanının Belirlenmesi	68
3.3.2. Kurutma Sistemi Tipleri	69
3.3.2.1. Morötesi Radyasyon Kurutma	69
3.3.2.2. İletimle Kurutma	69
3.3.2.3. İnfrared Radyant Kurutma	69
3.3.2.4. Dondurarak Kurutma	73
3.3.2.5. Vakumda Kurutma	73
3.3.2.6. Karıştırmalı Yatakta Kurutma	73
3.3.2.7. Akışkan Yatakta Kurutma	73
3.3.2.8. Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma	74
3.3.2.9. Flaş Kurutma	74
3.3.2.10. Tünel Kurutucu	74

3.3.2.11. Püskürtmeli Kurutucular	75
3.3.2.12. Taşınım Etkisiyle Kurutucu	75
3.3.2.13. Döner Kurutucular	75
3.3.2.14. Kabinet ve Kompartıman Kurutucular	76
3.3.2.15. Mikrodalga Kurutma	76
3.3.2.16. Dielektrik Kurutma	76
3.3.3. Kurutucuların Ön Seçiminde Ele Alınması Gereken Önemli Faktörler	76
3.3.4. Seramik Kalıpların Kurutulması	79
4. SERAMİK KALIP MAKİNESİ TASARIMI	81
4.1. Seramik Kalıp Makinesi için Seramik Çamur Karıştırma Tankı	86
4.2. Seramik kalıp makinesi için Toz Yağmurlama Ünitesinin Tasarımı	89
4.3. Seramik Kalıp Makinesi için İnfrared Kurutucu Fırın Tasarımı	92
4.4. Seramik Kalıp Makinesi için Hareket Mekanizması ve Kontrolü	96
5. SONUÇ	104
5.1. Öneriler	104
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
STL	: Stereolithography
NC	: Numerical Control (Nümerik Kontrol)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
UV	: Ultraviolet (Ultraviole – Mor Ötesi ışıık)
IR	: Infrared (Kızıl Ötesi Işıık)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
PLC	: Programmable Logic Controler (Programlanabilir Mantıksal Kontrolcü)
EEPROM	: Electrically Erasable Programmable Read Only Memo (Elektirikle Silinebilen Programlanabilir Sadece Okunur Hafıza
PIC	: Programmable Interface Controller (Programlanabilir Arayüz Kontrolcü)
HMI	: Human Machine Interface (İnsan Makine Arayüzü)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çeşitli hassas döküm parçaları	2
1.2. Döküm malzeme için aşamalar	4
2.1. Hassas dökümün prosesi için basit adımlar	6
2.2. Yaprak ve boncuk mumlar	8
2.3. Dolgu maddelerinin modeller üzerindeki volumetrik termal genleşmeleri	12
2.4. Mum Modelin salkım parçalarının enjeksiyon yöntemiyle üretilmesi	16
2.5. Mum modellerde distorsiyonun karşılaştırılması	18
2.6. Mum modelin salkım parçalarının elle birleştirilme işlemi	19
2.7. Mum model salkımı	21
2.8. Hassas döküm için yaygın bazı refraktörlerin lineer ısı genleşmeleri	25
2.9. Seramik çamur kaplama için robot kullanımı	35
2.10. Mum Modelin kaplanması	36
2.11. Kurutma hatları	37
2.12. Seramik kalıpların fırında pişirilmesi	42
2.13. Endüksiyon ocağında döküm	44
2.14. Seramik kalıba eritme ve döküm	46
2.15. Seramik kabukların kırılması	48
2.16. Hassas döküm için biyomedikal uygulamalar	55
2.17. Kompleks seramik çekirdek kullanılarak oluşturulmuş tek kristalli türbin kanadı	56
2.18. Bazı uçak ve uzay uygulamalarında kullanılan hassas döküm parça örnekleri	56
2.19. Hassas döküm için çeşitli uygulamalar	57
3.1. Sabit destekli tip seramik çamur karıştırma tankı	58
3.2. Pervaneli tip seramik çamur karıştırma tankı	59
3.3. Seramik çamurunda oluşan katı parçacıkları almak için kullanılan aparat tasarımı	60
3.4. Harici tip karıştırılmalı seramik çamur karıştırma tankı	61
3.5. Silindirik akışkan yataklı kazan	63
3.6. Konik akışkan yatak	64

3.7. Rotary tip toz yağmurlama ünitesi	65
3.8. Rotary tip toz yağmurlama ünitesi	65
3.9. Elevatör tip toz yağmurlama ünitesi	66
3.10. Infrared radyasyon ve elektromanyetik dalga boyları	70
3.11. Suyun spektrumu	72
4.1. Hassas döküm proses şeması	82
4.2. Hassas dökümde kalıp üretiminde robot uygulamaları	83
4.3. Seramik kalıp makinesi tasarımının perspektif görünüşü	84
4.4. Tasarlanan makinenin oluşturabileceği seramik kalıp ölçüleri	85
4.5. Seramik kalıp makinesi için seramik karıştırıcı tankı kesit görünüşü	86
4.6. Seramik kalıp makinesi için seramik karıştırıcı tankı üç görünüşü	87
4.7. Seramik kalıp makinesi için seramik karıştırıcı tankı perspektif görünüşü	87
4.8. Karışma işlemi sırasında oluşan sembolik akışlar	88
4.9. Seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı detay görünüşü	89
4.10. Seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı	90
4.11. Seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı detay görünüşü	91
4.12. Seramik kalıp makinesi için seramik kurutucunun üç görünüşü	92
4.13. İnfrared kuturucu fırının görünüşü	93
4.14. Seramik kalıp makinesi için İnfrared fırın kesit görünüşü	93
4.15. Kurutma fırınının infrared özellikleri	94
4.16. Kurutma fırınında oluşan sembolik hava akımları	95
4.17. Kurutma fırını boyunca oluşan sembolik hava akımları	95
4.18. Seramik kalıp makinesi için hareket mekanizması	97
4.19. Seramik çamura daldırma işlemi	99
4.20. Süzülme işlemi	100
4.21. Seramik tozla kumlama işlemi	100
4.22. İnfrared fırında kurutma işlemi	101
4.23. Kontrol sistemi şeması	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Hassas dökümün diğer döküm yöntemleriyle karşılaştırılması	7
2.2. Mumların oluşturulmasındaki katkı malzemeleri oranları	13
2.3. Hassas Döküm için yaygın refraktörlerin normal bileşimleri ve tipik özellikleri	24
2.4. Seramik çamuru oluşturan malzemelerin oranları	30
2.5. Zirkon seramik çamur çeşitlerinin formülleri ve özellikleri	31
3.1. Dalga boyları ve sıcaklık değerleri	70

1. GİRİŞ

Hassas döküm tekniği binlerce yıl geriye uzanmaktadır. Bu tekniğin ilk örnekleri, elle çalıştırılan körüklü fırınlar ve doğal balmumu kullanarak oluşturulan kil kalıbın içine, döküm işlemi yapılarak elde edilen desenli süs eşyaları ve takılardır. Hindistan'ın Happan sınırında milattan önce 2500-2000 yıllarına ait eserlerle, milattan önce 1333-1324 yıllarına ait olan Tutankhamun'un mezarı, Mezopotamya, Aztekle, Maya ve Afrika'daki Benin medeniyetinde üretilmiş bakır, altın ve bronz detaylı sanat eserleri, dünya çapında bulunmuş örneklerdir [1,2]. Hassas döküm yöntemini anlatan bilinen en eski metin (Schedula Diversarum) milattan sonra 1100 yıllarında Theophilus Presbyter adındaki bir rahip tarafından yazılmıştır [3]. Bu yazılan metinler Perseus'la Medusa'nın başının heykelini yapan, heykeltıraş ve kuyumcu ustası Benvenuto Cellini (1500 – 1571) tarafından kullanılmıştır [4].

Hassas döküm, 19. yüzyılın sonlarına doğru 1897 yılında Dr. Bluffs tarafından dişçilikte kron ve kakma için bu yöntemi kullanmaya başlamasıyla, modern endüstrilerde yer almaya başlamıştır. Dr. Taggart tarafından 1907 yılında bu yönteme hız kazandırılmış, aynı zamanda mum model bileşiklerinin mükemmel özelliklerini formülüze ederek, hava basıncıyla çalışan döküm makinesi icat etmiştir [5].

İkinci dünya savaşı yılları olan 1940'larda, özel alaşım içeren hassas ve net şekillere sahip olan ve geleneksel yöntemlerle imal edilemeyen ya da işleme sırasında çok fazla zaman harcanarak imal edilen metal parçaların imalatına, talep artmıştır. Bu nedenle bu tip parçaların imalatı için endüstri hassas döküm imalatına dönmüştür. Savaşın sonra, karmaşık metal parçaların imalatı için, hassas dökümün kullanımı birçok ticari ve endüstriyel uygulama alanına yayılmıştır [6].

Hassas döküm uygulamaları genel olarak, dereceli hassas döküm ya da seramik kabuğa döküm şeklinde yapılmaktadır. Dereceli hassas döküm genellikle takı ve diş sanayi kullanılmakta olup, metal bir kaba mum model yerleştirilip, içine özel bir alçı dökülüp kurutulduktan sonra, içerideki mumun boşaltılarak döküm yapılması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu tekniğin dezavantajı, döküm kalitesi çok ikna edici olmamasıdır. Ayrıca, sadece küçük parçalar üretilebilmektedir.

Endüstriyel kabuk teknolojisinde kullanılan bal mumu parçasının, seramik çamur içine batırıldıktan sonra, üzerine özel bir kum serpilip kullanımına başlanmasıyla, hassas döküm uygulamaları gelişmeye başlamıştır. Kabuk oluşturma işlemi, mum modelin yaklaşık 1 mm kalınlığında tabakayı oluşturmak için, seramik çamura batırılıp kuruduktan sonra tekrar daldırma ve kumlama işlemine tabii tutulmasıdır. Bu işlem 6 – 8 mm kalınlığında kabuk şekli oluşturulana kadar tekrarlanır. Oluşturulan seramik kabuk formu, sonradan ısıtılıp içindeki mum boşaltıldıktan sonra, pişirilme işlemine tabii tutulur. Sıvı metal eriyik bitmiş olan kalıba dökülerek katılaşmaya bırakılır. Bu tekniğin tek dezavantajı, çok zaman alıcı olmasıdır. Oluşturulan katmanları kurutma işlemi 1 gün sürebilmektedir. Bu da seri üretim için en büyük sakıncayı oluşturmaktadır. Şekil 1.1’de çeşitli hassas döküm parçaları örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Çeşitli hassas döküm parçaları [7]

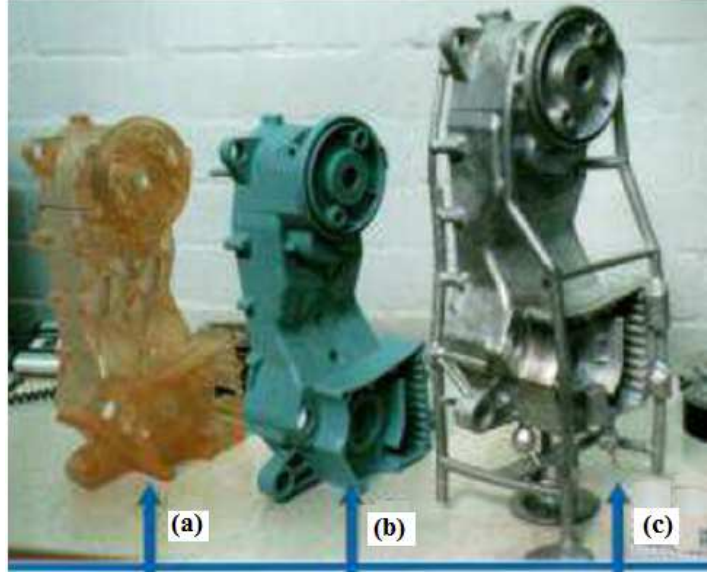
Seramik kabuk kalıplar, yüksek sıcaklıklara dayanabildiğinden, hızlı prototipleme ile bazı metal döküm parçalar kolaylıkla üretilebilmektedir. Mücevher ve diş sanayinde kullanılan düşük erime noktasına sahip malzemelerin olması durumunda ise, seramik kabuklu dökümün daha uzun zaman alacağına dolayı dereceli hassas döküm teknolojisi tercih etmektedir. Hızlı prototipleme uygulamaları, hassas dökümde seramik kalıpları oluştururken gerekli olan mum modellerin yapımında kullanılabilir. Bu sayede hızlı bir şekilde karmaşık parçaların üretimi mümkün olabilmektedir [8].

Günümüzde hızlı prototip üretim teknolojilerinde çok büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Halen otuzun üzerinde hızlı prototip üretim teknolojisi vardır ve bunların bazıları ticari olup kullanılmakta, bazıları ise araştırma laboratuvarlarında geliştirme aşamasındadır. Başlangıca göre hassasiyet gittikçe arttırılmış ve malzeme seçim aralığı genişletilmiştir. Böylece "prototip" kelimesi çok önemli olmaya başlamıştır. Prototipler, gelişen teknolojilerle artık fonksiyonel ve üretim öncesi testler için daha fazla kullanılmaya başlanılmıştır. Bir parçanın modeli, NC tezgâhlarla veya elle işleme gibi klasik metotlarla da gerçekleştirilebilir. Hızlı prototip üretim teknolojisi, diğer klasik yöntemlerde olduğu gibi hammaddeden malzeme kaldırma yerine tabaka tabaka ekleme esasına dayanır. Bu sistemlerle, imalat zamanı kısaltılabilir ve yeni ürünler daha çabuk tasarlanıp imalatına geçilebilir. Tanımlanan tüm işlemlerde giriş STL modeli olarak alınır ve parametreler işleme bağlı olarak tanımlanır. Üretilecek olan model paralel düzlemler ile dilimlenir (Slicing). Her iki dilim arasındaki uzaklık tabaka kalınlığı (Layer Thickness) olarak isimlendirilir. Fotopolirnerlerden dışındaki diğer malzemelerin kullanımı gibi önemli şekilde fark eden etkenler olmasına rağmen, ana işlem aynıdır ve bu; parçaların tabaka tabaka imal edilmesidir. Bu işlemler genel olarak tabakalı imalat teknolojileri olarak bilinir. Bu teknolojiler gittikçe gelişmektedir. [9].

Bir prototip çalışmanın ya da üretimin çok kısa zamanlarda tamamlanabilmesi amaçlanıyorsa, yüksek teknoloji üretimlerin kullanılması gerekmektedir. Çünkü bir ürün ne kadar karmaşık olursa, konvansiyonel teknolojilerle üretilmesi o kadar zaman alacaktır. Komplike sistemlerin geliştirilmesi için yapılacak her değişiklikte, kullanılan her parçanın imalatı tekrardan yapılacağından, yapılan tasarımın mükemmelleştirilmesi yıllar sürecektir.

Her ne kadar hızlı prototipleme ile istenilen parçaların modelleri elde edilse bile, imal edilen parçaların kullanımları kısıtlıdır. Metal parçaların istenilen özellikte ve ölçülerde gerçeğe en yakın olacak şekilde, kısa zamanda imal etmek için hassas döküm yöntemi uygulanır. Fakat hassas dökümün en büyük dezavantajı, dökümün yapılacağı seramik kabuğun kuruma sürecidir. Seri üretim tekniklerinden kaynaklı, robot kollar ve üretim hatların için kurutma fırınları gibi teknolojiler geliştirilmiş olmasına rağmen prototip üretimler hala eskisi gibi yapılmaktadır. Şekil 1.2’de hızlı

prototipleme ve hassas döküm aşamalarını birleştirerek elde edilen parça şekli gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Döküm malzeme için aşamalar (a) Hızlı prototipleme ile yapılmış model, (b) Silikon kalıptan çıkarılan mum model, (c) Seramik kalıp yöntemiyle dökülmüş metal parça [10]

Elle yapılan üretim tekniğinde seri imalatla robotlarla yapılan üretimlerdeki gibi iyi niteliklere sahip seramik kalıpların üretilmesi zordur. Bu nedenle, prototip üretimler için bu işlemi yapacak bir makinenin ihtiyacın gereksinimi vardır. Bu tezde yer alan makine tasarımında bu amaç gözetilmiştir. Bu amaçla, hassas döküm prosesi için detaylı literatür araştırması yapılmış, mevcut uygulanan yöntemler incelenmiş, proses için kullanılan makine tasarımları araştırılmıştır.

2. HASSAS DÖKÜM

Hassas dökümde, genellikle malzemesi mum olan tek kullanımlık bir malzemenin üzerine seramik çamur kaplanarak, döküm işlemi için sertleştirilir. Tek kullanımdan amaç modelin kalıptan çıkarılması, kalıbın ise dökümün çıkarılması esnasında tahrip edilmesidir. Hassas döküm prosesinde, seramik çamur, mum modelin üzerine kaplanarak kalıbın üst ve alt derecenin oluşturması için kullanılır.

Hassas döküm kalıplarını oluşturabilmek için iki tane belirgin yöntem vardır. Bu yöntemler dereceli (katı kalıp) hassas döküm ve seramik kabuklu hassas dökümdür. Seramik kabuk prosesi, mühendislik uygulamalarında dereceli hassas dökümün yerine kullanılan üstün bir tekniktir. 1985 yılı itibariyle kanat biçiminde olmayan hassas döküm parçalarıyla, büyük ve geniş tek parçaların dereceli hassas dökümle yapılma oranı, %20 den daha azdır. Bugün dereceli hassas döküm prosesi öncelikli olarak dişçi ve mücevher dökümlerinde genel olarak demir olmayan alaşımlarda uygulanır ve mühendisliğin küçük bir kısmını kapsar [11].

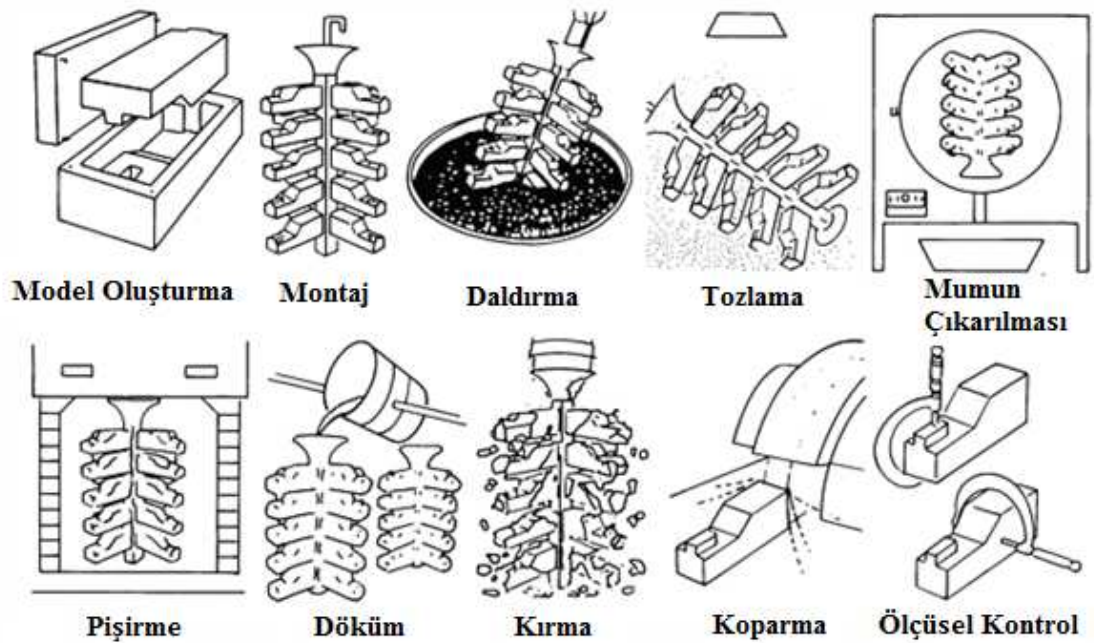
Hassas dökümün üstünlükleri aşağıda verilmiştir;

- Küçük ve karmaşık biçimli parçaların üretimi için uygundur.
- Boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi mükemmeldir.
- Genellikle ek işlemlere gerek kalmadığından, işlenmesi güç malzemelerin dökümünde tercih edilir.
- Kalıp tek parçalı olduğundan parça yüzeyinde bölüm düzleminin izi kalmaz.
- Mum, tekrar tekrar kullanılabilir.

Hassas dökümün olumsuz yönleri ise;

- Her bir parça için ayrı bir modelin üretilmesi gerekir.
- Yöntem mekanizasyona uygun olmayıp, üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.
- Model ile kalıp malzemelerinin pahalı olması ve üretimin çok sayıda işlem içermesi nedeniyle parça maliyeti yüksektir.

Hassas dökümle elde edilen dökümler, kum dökümle imal edilememektedir. Hassas dökümün en büyük bir avantajı kalıp oluşturulduktan sonra modelin dışarı çıkartılabilmesidir. Bu olay kum dökümde yapılamamaktadır. Kum dökümde kalıbın yarısı oluşturulduktan sonra model dışarı çıkartılırken, hassas dökümde ise mum model eritilip dışarı çıkartıldıktan sonra, kalıp yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak kalıp içinde kalan mum buharlaştırılır. Aynı zamanda ince bölgeler, hassas dökümde kolaylıkla yapılıp çok iyi sonuçlar elde edilebilir. Diğer yönden hassas döküm çok zaman alan ve pahalı bir prosestir olmakla beraber, bir şeyler yanlış yapıldığı zaman düzelme imkânı kum dökümüne göre çok daha düşüktür. Şekil 2.1’de hassas dökümün prosesi için basit adımlar gösterilmektedir. Çizelge 2.1’de ise hassas dökümün diğer döküm yöntemleriyle karşılaştırılması gösterilmektedir [12].



Şekil 2.1. Hassas dökümün prosesi için basit adımlar [11]

2.1. Model Materyalleri

Hassas dökümde kullanılan model materyalleri basitçe plastik ve mum olarak gruplandırılır. En yaygın olarak mumlar kullanılır. Plastik modeller ise (genellikle polystrene) çoğu kez ince seramik kalıpların kullanıldığı, dolu kalıba dökümle ilişkilidir [11].

Çizelge 2.1. Hassas dökümün diğer döküm yöntemleriyle karşılaştırılması [13]

Proses	Avantajlar	Dezavantajlar	Uygulama Örnekleri
Kum döküm	Metal malzeme, ebatsallık, şekilsellik olarak geniş aralıkta kullanılır ve düşük maliyetlidir	Geniş tolerans aralığına ve kötü bitirme yüzeyine sahiptir	Motor blokları, silindir başlıkları
Kabuk Kalıplama	İyi bir doğruluk ve bitirme özelliklerine ve yüksek üretim oranına sahiptir	Limitli parça ebatlarına sahiptir	Bağlantı çubukları, dişli kutuları
Dolu kalıba döküm	Metal malzeme, ebatsallık, şekilsellik olarak geniş aralıkta kullanılır.	Modeller düşük dayanıma sahiptir.	Silindir başları, fren komponentleri
Plastik kalıplar	Kompleks şekiller, iyi bitirme özelliklerine sahiptir.	Metal olmayan malzemelerde kullanılır, düşük üretim oranına sahiptir	Prototip mekanik parçalar
Seramik kalıplar	Kompleks şekillere, yüksek doğruluk oranına, iyi bitirme özelliklerine sahiptir.	Küçük parçalar imal edilir.	Pervaneler, enjeksiyon uçları
Hassas döküm	Kompleks şekiller, mükemmel bitirme özelliklerine sahiptir.	Küçük parçalar imal edilir, pahalıdır.	Mücevher
Kokil döküm	İyi bitirme özellikleri, düşük gözeneklilik, yüksek üretim oranına sahiptir.	Maliyetli kalıp, sadece basit şekiller imal edilebilir.	Dişliler, dişli kutuları
Metal enjeksiyon	Mükemmel ölçüsel doğruluk, yüksek üretim oranına sahiptir.	Maliyetli kalıplar, küçük parçaları, metal olmayan alaşımlar imal edilebilir.	Tam dişliler, kamera kasaları, jantlar
Santrifüj döküm	Büyük silindirik parçaları, iyi kalite oranına sahiptir.	Maliyetli, limitli şekiller imal edilebilir.	Borular, boyler, volanlar

2.1.1. Mumlar

Çeşitli karışımlardan oluşan mumlar birçok hassas döküm modeli için temel materyal olarak tercih edilirlerken, içerisinde sadece doğal mum karışımı içeren

malzemeler nadiren kullanılır. Genellikle reçine, plastik, doldurucu, yumuşatıcı, antioksidan ve boya gibi materyallerin mumların içine eklenmesi sayesinde, özelliklerinin iyileştirilmesi için, yapıları değiştirilir. Şekil 2.2’de yaprak ve boncuk mumlara örnek gösterilmektedir [11].



Şekil 2.2. Yaprak ve boncuk mumlar [14]

Modeller için en yaygın kullanılan mumlar parafinler ve mikro kristalinlerdir. Bu iki malzemenin kombinasyonları, birbirini tamamlayıcı olduğundan sıklıkla kullanılır. Parafin mumların erime noktası değerleri, 2.8 °C ye veya buna yakın bir değer artışıyla kontrol edilebilirler. Erime noktası 55 ile 62°C arasında olan mumlar en yaygın olarak kullanılanlardır. Bu mumların rahatlıkla birleştirilebilmesi, sınıflandırmaya uygun olması, yüksek kayganlık, düşük erime viskozitesi ve düşük maliyet gibi özelliklere sahip olması, yaygın bir şekilde kullanılmasına sebep olmaktadır. Parafin mumların kırılganlık ve yüksek çekme payı olmasına rağmen uygulamaları biraz sınırlıdır. Mikro kristalin mumlar ise, mum karışımları için yüksek oranda plastik ve sertlik sağlamaktadır. Mikro kristaline mumlar, parafin mumlardan daha yüksek erime noktasına sahiptirler ve genellikle parafin mumlarla kombinasyon oluşturularak kullanılırlar.

Ozocerite, parafin ve mikro kristalin mumlarla benzer fonksiyonları yerine getiren önemli bir mineral mumdur. Fisher-Tropsch mumları ise parafinlere benzeyen sentetik hidrokarbonlardır, fakat çok daha zor erimelerine sebep olan yüksek erime derecelerine sahiptirler ve mum model yapımında sertliğin ve rijitliğin oluşturulmasını sağlarlar. Polietilen mumlar (moleküler ağırlıkları genellikle polietilen plastiklerden daha düşüktür) Fisher-Tropsch mumlarıyla benzerdir, fakat 132 °C gibi daha yüksek erime derecelerine sahiptirler [11].

Candelilla (söğüt çiçeği) oldukça yapışkan ve hafif sert önemli bir bitkisel yapışkandır. Düşük genleşme katsayısına ve katılaşıırken, hidrokarbon mumlara göre daha az büzülme özelliğine sahiptir. Candelilladan, parafinin sertleştirilmesi ve yumuşama noktasının yükseltilmesi için faydalanılır. Az bulunmaktadır ve fiyatı çok dalgalanmaktadır.

Carnauba (güney Amerika'da bir palmye türü) diğer bir önemli bitkisel mumdur. 83°C gibi uygun bir erime noktası ve düşük termal genleşme katsayısı vardır. Carnauba çok sert, yapışan olmayan ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Oldukça pahalı olduğundan limitli kullanım alanı mevcuttur.

Balmumu yaklaşık olarak 64°C erime sıcaklığına sahip olan doğal bir böcek mumudur. Geniş bir şekilde mum model yapmak için kullanılır ve model karışımları için faydalanılır. Mikro kristalin mumlarla kıyaslanılabilecek şekilde, mum modellere, birkaç benzer karakteristikte katkılarda bulunur. Seramik kabuklu hassas döküm yönteminde orijinal mumun kullanılmasına gerek olduğuna inanılır fakat diğer mumlara göre maliyeti yüzünden limitli kullanım alanına sahiptir.

Palmitic ve sitrik asitler, mum özellikleri iyi olan yağlı asitlerdir. Eritildiklerinde, düşük viskoziteli, katı halde ısı genleşmesi az ve katılaşıırken çekme oranı az olan, geniş oranda malzemelere uygunluk gösterebilen bir malzemedir. Bu özelliklerine rağmen, montan mumu (asit ve ester çeşidi türünün ikisi) yağlı asit amit'ler, serasin, stearone ve hydrogenated castor yağı gibi diğer mumlar da hala kullanılmaktadır.

Şu ana kadar bahsedilmiş mumlar en yaygın olarak mum modellerin karışımlarının oluşturulmasında kullanılırlardır. Parafinler ve mikro kristalinler aralarında en yaygın olarak tercih edilendir. Başka birçok mumda mevcuttur ve potansiyel olarak faydalıdır. Birçok durum için belirli bir mum çeşidi kullanılmaz, çünkü ucuz bir mumda diğer mumlarla benzer özellikler sunabilir [11].

Mumlar, makul özellikleri sayesinde, şimdiye kadar diğer malzemelerin özellikleriyle kolayca elde edilemeyen niteliklere karşı, diğer malzemelere göre iyi bir denge sağladılar. Düşük erime noktaları ve erime viskozitelerine sahip olmaları,

onları kolaylıkla bileşik olabilen, enjekte edilebilen, salkım halinde montaj edilebilen ve ince seramik kalıpları kırmadan eritilerek çıkartılabilen bir malzeme haline getirdi. Mumların sahip olduğu bu özellikler, düşük sıcaklıkta ve basınçta kalıplanmalarına imkân sağlamakta ve aynı zamanda aşındırıcılık özelliklerinin olmayışından kaynaklı düşük takım maliyetin oluşmasına sebep olmaktadır.

2.1.2. Katkı Malzemeleri

Normalde mumlar birçok faydalı özelliği elinde bulundurmaktadır, fakat yetersiz kaldığı iki önemli alan vardır.

- Dayanıklılık ve rijitlik, özellikle kırılğan modellerin yapılması gereken yerlerde.
- Ölçüsel kontrol, özellikle modelin kalıplanması sırasında ve sonrasında katılaşıırken oluşan yüzey kavitasyonlarını gidermek için

Bu alandaki gelişmeler mum özelliği bulunmayan katkı malzemeleriyle yapılabilir.

Mumların dayanıklılık ve toklukları polietilen, etil selülozu, naylon, etilen vinil asetilen ve etilen vinil akrelilik gibi iyi bilinen, yüksek molekül ağırlıklı plastik katkı malzemeleriyle geliştirilebilir. Bu malzemeler kullanım miktarlarına bağlı olarak mumun kalıplanma sıcaklığında, yüksek oranda akışkandır.

Bununla birlikte kullanılan katkı malzemesi miktarları, model ve salkımın taşınabilme karakteristiğinde, önemli bir gelişme sağlamak için yeterlidir. Bunun için genellikle polietilen kullanılır. Çünkü polietilen, ekonomik olmakla birlikte, geniş mum yelpazesine uyum sağlamaktadır. Etilen selülozun kullanımı, pahalı olmasından kaynaklı çok sınırlıdır. Etilen vinil asetat ve etilen vinil akrilik uygulama alanları genişleyen, yeni malzemelerdir. Naylon ise sadece küçük miktarlarda kullanılır [11].

Katılma esnasında oluşan ve yüzey kavitasyonuna sebep çekmelerin, karışımın içinde plastik malzemelerin katılmasıyla azalmaktadır. Buna rağmen

plastik malzemelerin kullanım etkisi, viskozitenin yüksek değerlere ulaşmasından önce kullanılabilinecek şekilde, yani düşük miktarlarda kullanılacak şekilde sınırlandırılmıştır. Mum karışımlarında en iyi etkiler, içerisine reçine ve dolgu malzemeleri eklenerek elde edilir. Mum model yapımında en çok kullanılan reçinedir. Dolgu malzemeleri daha seçici kullanılır ve bu, mum modellerin oluşturulmasında modelin, dolgu malzemeli veya malzemesiz oluşuna göre tanımlanmasına sebep olur.

Mum modelin çekmesini azaltmak için kullanılan reçineler, sertleştirme için kullanılan plastiklerin, moleküler ağırlığından daha hafiftir. En kullanışlı reçineler sürekli sıcaklığın artmasına neden olan ve ısıtma sırasında katıdan sıvıya geçerken kendini belli etmeyen ya da ters işlemi olan soğutma sırasında sıvıdan katıya geçenken muma dönüşebilenleridir. Kullanılan miktarlar oldukça fazla olabilir. Çünkü reçineler mum prosesinin gerçekleştiği sıcaklıkta, düşük eriyik viskozitesi sağlarlar.

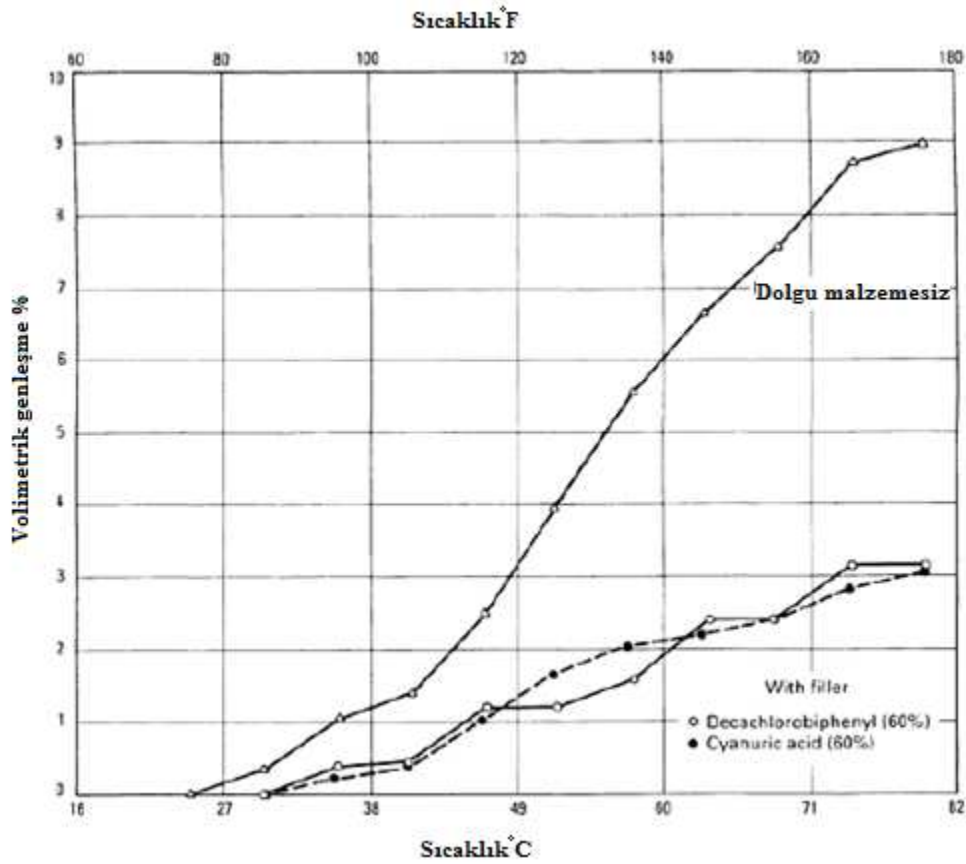
Mumlara katkı için kullanılan reçineler çok sayıda reçinenin (esterlenmiş, polimerlenmiş, hidrojenlenmiş ve dehidrojenlenmiş) karıştırılmasıyla elde edilir. Burgundy zifti, vernik ve terpen reçinelerinin karışımı gibi iyi bilinen, üç bileşikten oluşmuş reçine, örnek olarak verilebilir. İlave reçineler kumaron – inden, petrolden oluşmuş çeşitli hidrokarbon reçineler ve birkaç kömür katranıdır. Şu ana kadar bahsedilmiş reçineler, geniş bir yumuşama noktası aralığını kapsar ve viskoziteleri, sıcaklığa karşı bir tepkime içerir. Oda sıcaklığında, yumuşak ve yapışkan yapıları sert ve kırılgan bir yapıya dönüşürken, mum ve plastiklerin içinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Reçine seçiminde, bütün bu faktörler üzerinde düşünülmeli ve model mumları içerisindeki kullanımının, uygun bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

2.1.3. Dolgu Malzemeleri

Mumların katılaşma sırasında oluşan çekmeler, dolgu malzemesi olarak adlandırılan toz halindeki katkı maddeleriyle de azaltılabilir. Dolgu malzemeleri

karişım içinde erimeden bulunur, mumlardan daha yüksek ergime sıcaklığına sahiptir ve karişım eritildiğinde, enjekte edilebilirlik süspansiyonu oluştururlar [11].

Dolgu maddeleri erimediklerinden ve kullanım miktarına bağlı olarak, karişımın katılaşması esnasında oluşan büzülme sırasında, çekmeye katkıda bulunmazlar. şekil 2.3’de dolgu maddelerinin ısıtma ve soğuma sırasında genleşmeye etkisi gösterilmektedir. Dolgu malzemeleri model mumlarında polisitren, çeşitli dicarboxamide ve ilişkili bileşikler, isotropik asit, pentaerythritol ve hexamethylenetetramine ile birlikte kullanılır. Kullanılan dolgu malzemeleri tercihen az miktarda ve eşit oranlı küresel yapılarda olmalıdır. Küresel polisitren, içi boş karbon mikro küreler ve ısı ile sertleşen plastik küresel partiküller gibi, birkaç dolgu malzemesi geliştirilmiştir. Konsept olarak, katı dolgu malzemelerle aynı özellikleri sağlayacak ve erimiş mum ile su emisyonu içeren, bir tür dolgu malzemesi de geliştirilmiştir. Bu tip mumlar ticari olarak mevcuttur [11].



şekil 2.3. Dolgu maddelerinin modeller üzerindeki volumetrik termal genleşmeleri[11].

Benzer şekilde mumların içine ek olarak, birkaç katkı malzemesi kullanılabilir. Boyalar rengi ayarlamak için kullanılır ve bu sayede modelin yolluğu ile parça şablonları birbirinden ayrılabilir. Anti oksidanlar, termal bozulmaya meyilli olan mumları ve reçineleri korumak için kullanılabilir. Yağlar ve plastikleştiriciler ise enjeksiyon özelliklerini değiştirmek ve büzülme ve azaltmak için kullanılabilirler. Çizelge 2.2’de mum karışımlarının oluşturulmasındaki katkı malzemeleri oranları gösterilmektedir.

Sonuç olarak şu ana kadar bahsedilenler günümüz model mumları (dolgu malzemesiz) çeşitli bileşiklerden oluşmaktadır ve aşağıdaki oranlarda kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2. Mumların oluşturulmasındaki katkı malzemeleri oranları [11].

İçindekiler	Bileşim %
Mumlar (Genellikle birden fazla)	30 - 70
Reçineler (Bir veya iki)	20 - 60
Plastik (bir)	0 - 20
Diğer katkı malzemeleri	0 - 5

2.1.4. Mum Seçimi

Mum modelin malzemesinin formülleri, proses alanlarına ve diğer alanlara göre belirlenmiş olmalıdır. Bunların kendine özgü özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- **Enjeksiyon Edilebilme:** Yumuşama noktası, donma aralığı, maddenin akışkan özellikleri, tekrar kullanılabilme, yüzey ve hazırlanma süresi
- **Nakil, Taşıma ve Birleştirilebilme:** Yağlayıcılık, dayanım, sertlik, rijitlik, darbe direnci, stabilite ve kaynak edilebilme özelliği
- **Ölçüsel Kontrol:** Isıl genişleme/büzülme, katılma sırasında oluşan büzülme, kavitasyon eğitimi, çarpılma ve stabilite

- **Kalıp Yapımı** : Dayanım, ısınabilirlik ve karışım malzemeleri ile solventlere dayanım
- **Kalıptan Çıkarılma ve Yakılma**: Yumuşama noktası, viskozite, termal genleşme, termal difüzyon ve kül miktarı
- **Çeşitlilik**: Maliyet, bulunabilirlik, geri dönüşümünün kolay olması, toksitise ve çevresel faktörler

En iyi seçim yöntemi ise laboratuvar ortamında bu faktörlerin imalat için uygunluğunun test edilmesidir.

2.1.5. Plastikler

Plastikler, mumlardan sonra gelen ve geniş oranda kullanılan model materyallerinden biridir. Genellikle, polistren sınıfı malzemeler genel kullanım amaçlı olarak kullanılır.

Polistren ve diğer plastik malzemelerin temel avantajı, yüksek oranda otomatik ekipmanlar yardımıyla üretiminin mümkün oluşu ve modellerin sahip olduğu oldukça ince kısımlarda, taşınma sırasında oluşan hasarlara karşı dayanım yeteneklerinin iyi olmasıdır. Aynı zamanda çok ekonomik ve stabil oluşlarıyla, modellerin uzun süre bozulmadan saklanabilmeleri, diğer özelliklerindendir. Polistrenin aksine birçok mum model zamanla bozulup ve kullanılmaz hale gelebilir.

Polistren malzeme kullanımının bir dezavantajı, modelin kalıptan çıkarılması sırasında kalıbın kırılmasına meyil oluşturmaktır. Bu olay seramik kabuklu hassas döküm için, derece ile yapılan hassas döküme göre daha kötü bir durum oluşturmaktadır. Polietilen, naylon, etil selüloz ve selüloz asetat gibi diğer yaygın plastikler içinde bu durum aynıdır. Polistren şekillendirilmesi için kullanılan takım ve enjeksiyon ekipmanları, mum için olanlardan çok daha pahalıdır. Sonuç olarak polistren bazı uygulamalarda kullanma uygundur. Amerika da bulunan 72 hassas döküm tesisini içeren bir makaleye göre, bu tesislerin %20 den daha azı polistrenin kalıplanması için gerekli olan makineye sahiptir. Buda mum enjeksiyon makineleri 13 te 1 oranında daha fazla sayıda olduğunu gözler önüne sermektedir [11].

Polisitren için en önemli uygulama beklide küçük yapılı hassas kanatçık yapımıdır. Nozul ve bütünleşik rotor modellerin dökümü için, mum ve plastikten oluşan kompozit yapılar kullanılır. Bu modellerdeki küçük kanatçıklar oldukça ince ve hassastır. Eğer mum kalıp kullanılırsa, model çok kırılgan olabileceğinden, dökülmüş malzeme üzerinde küçük bir çektik veya çatlak olsa bile, yapım işlemi oldukça pahalı olan dökülmüş bütün malzemenin geri iadesine sebep olabilir. Polisitren malzeme bu problemi çözmektedir ve büyük modelleri oluştururkenki kalıplama sırasında gereksiz çatlaklar olmaksızın imal edilip, modelin geri kalan yapısı için mum kullanılarak oluşturulan yapıda, uygun bir malzeme görevi görmektedir. Polisitrenin diğer bir önemli kullanımı ise küçük parçalardan oluşan modellerden çok miktarda yapılabilir olmasıdır. Buna rağmen bu uygulama dereceli hassas dökümlerde uygulanmak üzere, seramik kabuklu hassas dökümle yer değiştirmektedir.

2.1.6. Diğer Kalıp Malzemeleri

Üreyi temel alan model malzemeleri avrupa da geliştirilmiştir. Çok sert ve güçlü bu malzemeler, plastiklere benzemektedir ve yüksek basınçlı enjeksiyon makineleri kullanılarak, modeller imal edilmektedir. Üreden imal edilen modellerin bir avantajı, seramik kalıplarda gerilim oluşturulmadan kolaylıkla çıkartılabilir olmalıdır. Modeller basit bir şekilde su veya sulu çözelti içinde çözünebilmektedir. Bazı uygulamalarda, Paradichlorobenzene ve naftaline den oluşan model uygulamaları Japonya da kullanılmıştır. Köpük polistren de uzun zamandan beri uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.2. Model Yapımı

Hassas döküm için modeller, imal edilmesi istenilen şekildeki parçaya göre oluşturulmuş metal bir kalıbın içine, model malzemesinin enjekte edilmesi sayesinde oluşturulur. Küçük adetteki modeller ise konvansiyonel makinelerde işlenerek de elde edilebilmektedir [11].

2.2.1. Mum Modellerin Enjeksiyonu

Mum modeller, genellikle düşük sıcaklıklarda ve basınçta, bu amaç için oluşturulmuş, birbirinden ayrılabilen kalıpların içine enjekte edilerek oluşturulurlar. Modeller malzemesi sıvı halde, yarı akışkan ya da katılaşma sınırında kalıba enjekte edilebilir. Katılaşma sınırındaki malzeme, mumun ekstrüzyon yöntemiyle elde edilmesinde, çoğu kez tercih edilen yöntemdir. Sıcaklık aralığı genellikle 43°C den 77°C aralığına kadar, basınç aralığı ise 275kPa 'dan 10.3 Mpa 'a kadardır. Sıvı mumlar yüksek derecelerde ve düşük basınçlarda enjekte edilirler. Şekil 2.4'te enjeksiyon işleminde kullanılan makine ve kalıp gösterilmektedir. Katı mumlar ise düşük sıcaklıkta yüksek basınçta enjeksiyon işlemine tabii tutulurlar. Bazı durumlarda aynı özellikteki mumlar veya mumların tamamı bu şartlar altında enjekte edilirler, fakat tek yöntem geliştirip buna mumu adapte etmek genellikle en faydalı olanıdır [11].



(a)



(b)

Şekil 2.4. Mum Modelin salkım parçalarının enjeksiyon yöntemiyle üretilmesi (a) Mum enjeksiyon makinesi; (b) Mum enjeksiyon kalıbı; [7]

2.2.2. Plastik Modellerin Enjeksiyonu

Polisitren modellerin genellikle enjeksiyon sıcaklıkları 177°C ile 260°C arasındadır ve 27.6 Mpa ile 138 Mpa aralıklarında çalışan standart enjeksiyon makinelerinde imal edilirler. Bu makineler dikey soğutulan, kalıbın yarısını taşıyan baskı levhası bulunan ve merkez baskı levhasının içinden, yatay bir şekilde enjeksiyon işlemi yapan hidrolik makinelerdir. Polistren granülleri besleme hunisinin içine yüklenerek enjeksiyon işlemi öncesi buraya toplanır ve daha sonra makinenin içine alınarak ısıtılır. Modern makineler kalıba enjekte edilecek malzemeyi hazırlamak için ısıtma sistemine sahip dönen bir vidaya sahiptir. Bazı makinelerde ise enjeksiyon işlemi için piston kullanılmaktadır.

Çok gözlü kalıplarda, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kalıplarda otomatik ya da yarı otomatik operasyon teknikleriyle yüksek miktarda ürün elde etmek mümkündür.

Aynı karakteristik özellikler, mumun kalıplanmasında da mümkündür. Mum bileşiklerinin gelişmesi, plastik enjeksiyon makinelerindeki üretim sürecinde iyi sonuçlar vermiştir.

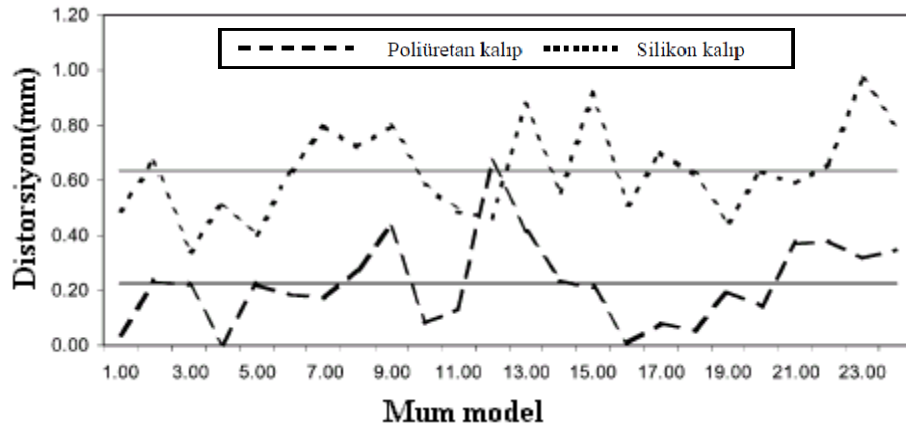
2.2.3. Konvansiyonel Yöntemlerle Mum Modelin Elde Edilmesi

Prototip ya da deneysel bir işte, bir veya birkaç adet model gerekli olduğu durumlarda, mum ya da polistrenden malzemeden modelin direk olarak elde edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu durumda mum ya da polisitreni konvansiyonel yöntemlerle işleyerek şekil verebiliriz. Bu yöntemden model oluşturmak için zaman gerektiği ve maliyet oluşturulduğu için kaçınılır. Bu yöntem için özel mumlar geliştirilmiştir.

Mum modellerin oluşturulmasında bu uygulamaların haricinde, silikon veya poliüretandan, negatif kalıplar oluşturulma veya pozitif modelin oluşturulması uygulamaları gelmektedir [11].

2.2.4. Mum Modelin Oluşturulmasında Kullanılan Silikon ve Poliüretan Kalıplardaki Distorsiyonun Karşılaştırılması

Hassas döküm prosesinde kullanılan mum model düzgünlüğünün istatistiksel analizi üzerine yapılan çalışmada, farklı kalıp türlerinin modelin distorsiyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Poliüretan kalıplarda, silikon kalıplara göre daha düzgün modeller elde edildiği görülmüştür. Poliüretan kalıp ile düşük basınç ve yüksek sıcaklıkta, uygun süre seçilerek düzgün modeller üretilebilmektedir. Kısa sürelerde daha düzgün modeller üretilmektedir ancak sürenin çok kısa olması, kalıptan çıkarılırken çok yumuşak olması nedeniyle distorsiyona neden olmaktadır. Elde edilen sonuçlar, boyutsal kararlılığı iyi döküm parçaların üretilebilmesi için CAD çizimlerinde gerekli toleransın verilebilmesine yardımcı olur. Poliüretan ve silikon kalıplar kullanılarak üretilen mum model boyutlarındaki değişimler, Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Silikon kalıp kullanılarak üretilen mum modellerde distorsiyon daha fazladır. Silikon kalıptan üretilen modellerde ortalama değişim 0,63mm ve poliüretan kalıpta 0,23mm’dir [15].



Şekil 2.5. Mum modellerde distorsiyonun karşılaştırılması [15].

2.3. Model ve Model Salkımının Oluşturulması

Hassas döküm için büyük modeller tek olarak hazırlanır, fakat küçük veya orta boy olanları model ağacı oluşturularak ekonomik bir şekilde yapılabilir. Örneğin uçak türbinin kanatların salkımı 6 ila 30 parça arasında oluşmaktadır. Küçük

parçaların sayısı bir düzineden yüz parçaya kadar çıkmaktadır. Çoğu model komple yollukla beraber kalıplanır. Buna rağmen çok geniş ve kompleks yapılı modeller daha sonra birleştirilmek üzere parçalar halinde kalıplanır. Enjeksiyon makinelerinin kapasitesi ve takım maliyetleri üzerinde düşünülmesi gereken konulardır. Boşaltma kabını kapsayan yolluk parçaları birbirinden ayrı olarak üretilebilir ve model salkımı oluştururken sonradan birleştirilir. Standart ekstrüd mumlarının biçimi genellikle yolluk oluşturacak bir biçimdedir. Önceden hazırlanmış olan seramik boşaltma çanağı mumum bir tarafına yerleştirilir. Birçok model montajı el ile yapılmaktadır.

2.3.1. Model Montajı

2.3.1.1. Mum Bileşenler

Mum bileşenler sıcak demir, spatula veya küçük gaz aleviyle mum kaynağı yapılaraktan birleştirilmektedirler. Şekil 2.6'da Mum modelin salkım parçalarının elle birleştirilme işlemi gösterilmektedir. Birleştirilecek olan iki bileşenin ara yüzünde kalan mum kolayca eritilir ve bileşenler birbirine bastırılarak, tekrar katılaşınca kadar beklenir. Daha sonra birleşim yerindeki pürüzler temizlenir. Mum kaynağı yerine sıcak bir yapıştırıcıda kullanılabilir. Bu amaç doğrultusunda lazer sistem kaynağıda son zamanlarda geliştirilmektedir [11].



Şekil 2.6. Mum modelin salkım parçalarının elle birleştirilme işlemi [7]

Elle yapılan kaynak, uygun bir beceri ve yüksek dikkat gerektirmektedir. Montaj yapılan modellerin düzgün bir şekilde hizalanmasında mastarların

kullanılması gerekmektedir. Model parçaları, düzgün bir şekilde hizalanmış ve boşlukları verilmiş olmalıdır. Birleştirme yerleri güçlü ve hiçbir açıklık olmayacak olacak şekilde kapatılmalıdır. Hasar görmüş veya erimiş mumun döküldüğü yerlerdeki parçalar dikkatle alınmalıdır [11].

2.3.1.2. Polistren Model Parçalar

Polistren model parçaları solvent kaynağı vasıtasıyla yapılır. Plastik parçaların ara yüzleri solvent yardımıyla yumuşatılır ve parçalar birbirini tutuncaya kadar birbirine bastırılır. Polistrenler solvent ile ıslatıldığında çok yapışkan olurlar ve kolayca kendilerine yapışabilirler. Çoğu kez bir ya da iki yarının ıslatılması gerekmektedir. Polistrenin muma montajı sadece mum kaynağı yapılarak gerçekleştirilmektedir.

2.3.1.3. Otomasyon

Birçok montaj ve birleştirme operasyonu hala elle yapılmaktadır, fakat bazı otomasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bir operasyonda 52 ile 120 kanatçıga sahip olan nozul dökümü için, modelin oluşturulmasında robot kullanılmıştır. Model salkımının oluşturulması, özel olarak hazırlanmış birkaç üniteyle otomatik olarak sağlanmıştır. Model salkımındaki model çiftleri otomatik bir şekilde karşılıklı olarak yay baskısı altında ısıtılmış bakır plakaların yardımıyla mum kaynağı yapılarak birleştirilmiştir. Bu işlem sırasında standart yolluk iyi bir master görevi görmüştür. Bu şekildeki birleştirme küçük be orta boy dökümler için uygun olmaktadır [11].

2.3.2. Model Salkımının Oluşturulması

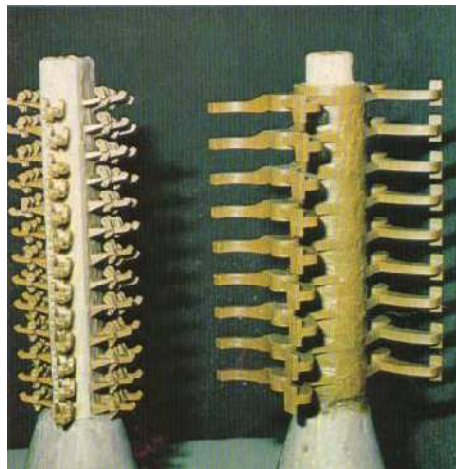
Model salkımının oluşturulması prosese her yönde etki yaptığından dolayı kritik bir faktördür. Montajın kolaylığı, parça sayısı, dökülecek metal oranı, taşıma dayanıklılığı, kalıplama kolaylığı ve kurutma, mumum dışarı çıkarılması, sıvı metal akışı, ince bölgelerin doldurulması, besleme sonucu oluşan çekme, parça büyüklükleri, kalıbın kırılması, bitirme işlemlerinin kolaylığı ve proses için mevcut ekipmanlar gibi faktörlerin üzerinde düşünülmesi gerekmektedir.

Bunun için aşağıdaki aşamalar önerilir.

- İyi bir şekilde boyutlandırılmış ve taşınma için yeteri kadar sağlam bir yapıya sahip bir model ağacının sağlanması
- Metalürjik özelliklerin sağlanması
- Kimyasal ve mekaniksel testler için örnekler ayrılmalı (eğer gerekiyorsa)

Bir kez bu aşamalar sağlandığında diğer faktörler bu aşamalara göre ayarlanarak en uygun koşula getirilir. Proses çok esnek olduğundan dökümhaneler bu işlemler için çeşitli yollar denerler. Bazı modelciler model salkımını tasarlarken, her salkımın ve metalin kullanımını en iyi olacak şekilde tasarlamaktadırlar. Diğerleri model salkımını, proses ve taşınmalar için standartlaştırmıştır. Salkımdaki modeller tekdüze, kontrollü katılaşma veya tek kristalli döküm yapılmak istendiğinde, termal dengeyi sağlamak için çoğu kez dairesel salkım yapı kullanılmaktadır. Şekil 2.7’de dairesel yapıda birleştirilmiş mum salkım yapısı gösterilmektedir. Kontrollü katılaşma, ters vakum dökümü (counter-gravity casting), santrifuj döküm, gibi özel döküm yöntemler temel model tasarımını etkilemektedir.

Model salkımı tasarımının en önemli noktalarından biri yolluk girişi ve çıkıcıların tasarımıdır. Çıkıcıların yapısı, kum dökümdeki gibi çıkıcıya doğru katılaşma, katılaşma şekli ve alaşıma göre besleme uzaklığıyla, modelin büyüklüğü gibi temel yapılarla aynıdır.



Şekil 2.7. Mum model salkımı [14]

Besleme mesafeleri hassas döküm kalıplarında, kum kalıplara göre daha uzun olmalıdır. Bazen kalıplarda ayrı çıkıcılarda kullanılır. Fakat hassas sökümde daha sık olarak, çok fazla küçük parçalar imal edildiğinden yolluk sistemi özellikle çıkıcı görevi görmektedir. Mum salkım kullanımı besleme sistemi için büyük bir esneklik sağlamaktadır. Ekstrüde mum şekilleri kolaylıkla çekme eğilimi olan bölgelere eklenerek besleyici dönüştürülebilir. Besleyiciler, eğer model maliyetlerinde yüksek bir artış yaratıyorsa, el ile manuel olarak mum salkımına eklenebilir. Besleyicilerin bu özelliği çok yüksek hassasiyetli kompleks parçaların dökümünde çıkıcıların pratikliğini ön plana çıkarır. Fabrikasyon yapılamayan çok büyük parçalarda ise, maliyet avantajı sağlar.

Sonlu elemanlar metodu gibi metotları temel alan ısı transferi, katılma analizi ve besleme sistemi analizi gibi uygulamalarla, modeller üzerinde çalışılmaktadır.

2.4. Seramik Kalıbın Üretimi

Hassas döküm kalıpları, seramik çamurunun model salkımının üzerine seri bir şekilde kaplama yapılmasıyla oluşturulur. Her kaplama kalın seramik tanecikli ince bir seramik katman halinde, model salkımının dış yüzeyine uygulanır. Mum salkım ilk olarak seramik çamur banyosuna batırılır. Daha sonra çamur banyosundan çıkarılarak, homojen bir katman oluşturulması için süzülür. Islak katman, kalın seramik parçacıkların olduğu bir akışkan bir toz banyosuyla ya da üzerine bu parçacıkların serpilmesi işlemiyle, süzme işleminden sonra hemen kaplanır.

Kalıbın iç yüzeydeki ince yumuşak yüzeyli seramik katman formu, modelin üzerindeki her detayı içerecek şekilde oluşur. Seramik çamur, yapıya dayanıklılık sağlayan bağlayıcı bir maddede içerir. Kalın kaplama parçacıkları, katmanlar arasında sınırlar oluşturup, kalınlığın hızlı bir şekilde arttırılmasına sağlar ve seramik çamuru bir arada tutarak kırılmasını ya da dağılmasının önlenmesine yardımcı olur.

Her bir katmanın, bir sonraki operasyon işleminden önce sertleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem kimyasal jel ya da seramik malzemeye oluşturulan kombinasyonun kurutulması işlemiyle sağlanır. Kaplama, serpme ve sertleştirme

işlemi gerekli kalıp kalınlığı oluşturuluncaya kadar devam edilir. Son kaplamada genellikle kalıbın yüzeyinden kopacağı için seramik tozun kaplanmasından kaçınılır [11].

2.4.1. Kalıp Refraktörleri

Seramik kabuk kalıbın oluşturulmasında en yaygın olarak kullanılan malzemeler silika, zirkon ve çeşitli alüminyum silikatlarıdır. Birçok uygulamada bu üç çeşidin kombinasyonları kullanılır. Alümina, kontrollü katılaşma prosesinin değerini arttırdığından, süper alaşımların dökümlerinde kullanılmaktadır. Alümina genellikle çok pahalı olduğu düşünülür, bu nedenle endüstriyel uygulamalarda pek kullanılmaz. Silika, zirkon, alüminyum silikatlar ve alümina seramik çamurunda ve seramik tozunda bulunur. Çizelge 2.3’de bu malzemelerin tipik özellikleri, Şekil 2.8 de ise ısı genleşme eğrileri gösterilmektedir.

2.4.1.1. Silika

Silika genellikle doğal kuartz kumunun eritildikten sonra katılaştırılarak elde edilen silis camı şeklinde kullanılır. Parçalanıp ve elenerek tanecik büyüklüklerine göre ayrıldıktan sonra püskürtme parçaları olarak, toz halindeki formu ile ise seramik çamurunda kullanılırlar. Oldukça düşük olan ısı genleşme katsayısı seramik kalıba, ısı şok direnci vermekte ve kostik çözelti içinde çözünebilmektedir. Kostik çözeltiler döküm alanında, diğer metotlarla temizlenmesi zor olan seramik kabuk malzemesinin kimyasallarını uzaklaştıran bir yöntem sağlar.

Silika aynı zamanda tek başına da kullanılmaktadır. Bu malzeme, herhangi bir uygulamada kullanılan en ucuz malzemedir. Buna rağmen yüksek ısı genleşme katsayısı, 573°C de α dan β fazına geçişte yüksek orandaki ani olarak ve tutarsız bir şekilde genleşmesi, kullanımını sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak kuartz içeren seramik kabuk yavaşça ısıtılmalı ve dökümhaneler bu konuda deneyim kazanmalıdır [11].

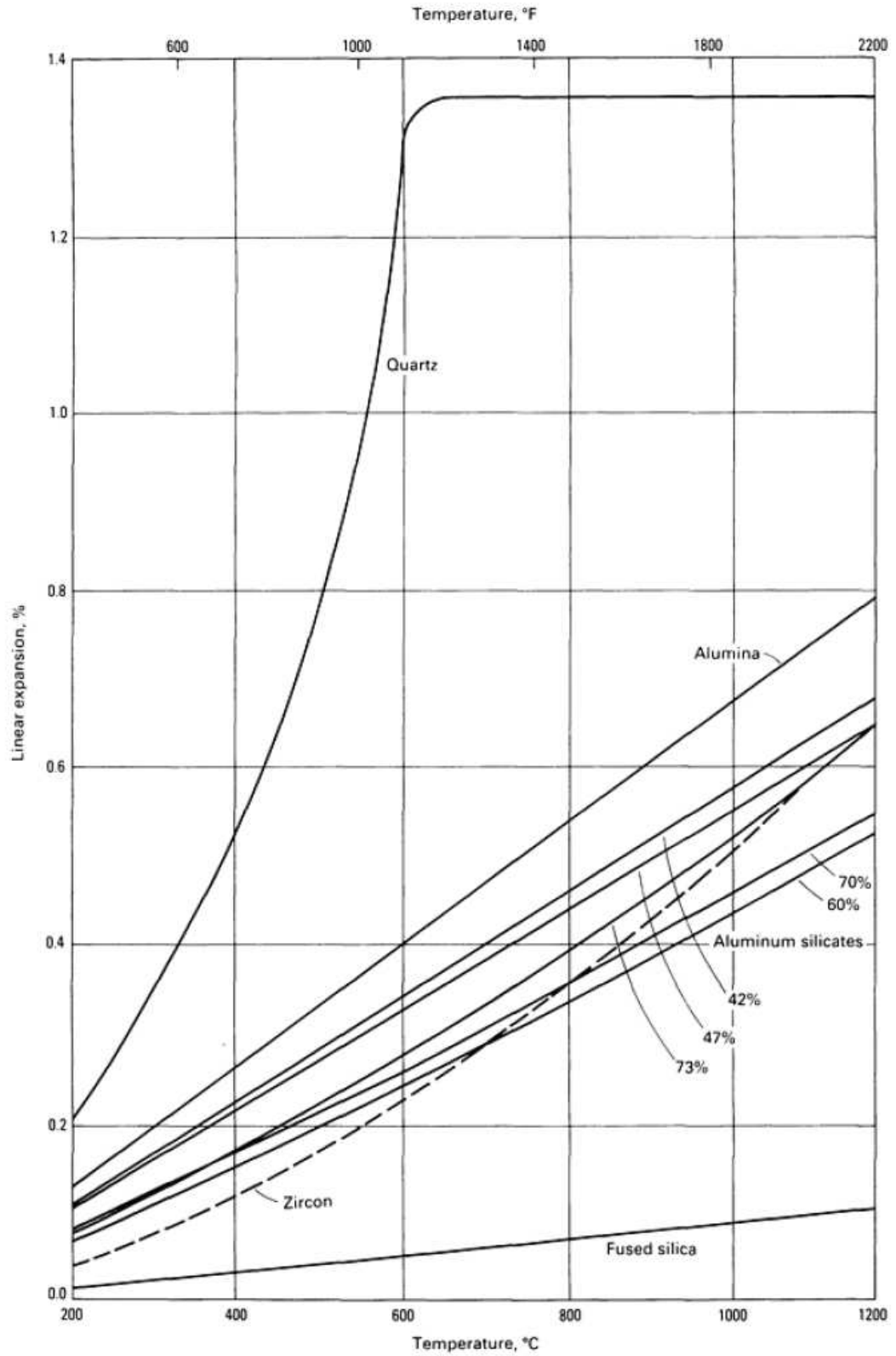
2.4.1.2. Zirkon

Zirkon doğal olarak kumun içinde bulunmakta ve bu haliyle kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Genellikle ilk katmanda kullanımı limitlidir, çünkü boyutları yeteri kadar kaba olmadığından kaplama işlemi sırasında destek meydana getiremez. Aynı zamanda pudra formunda seramik çamurunda erimiş silis veya alüminyum silikatla birlikte kullanılır. Temel avantajları, yüksek refraktör malzemesi olması, erimiş metalin oluşturduğu ıslaklığa karşı direnç göstermesi, yuvarlak partikül şekli ve kolay temin edilebilmesidir.

Çizelge 2.3. Hassas Döküm için yaygın refraktörlerin normal bileşimleri ve tipik özellikleri

Malzeme	Nominal Oran %	Kristalize Formu	Ortalama teorik yoğunluk		Süzülme (a)	Ortalama Erime Noktası		PCE Sıcaklığı (b)		PH	Renk
			g/cm3	g/cm3		°C	°F	°C	°F		
Alüminyum silikalar											
42%	Al ₂ O ₃ - 53SiO ₂	Karışım	2.4 - 2.5	0.086-0.090	zayıf	....	....	1750	3180	6.5-7.8	Gr'den ten'e
47%	Al ₂ O ₃ - 49SiO ₂	Karışım	2.5 - 2.6	0.090-0.094	zayıf	....	....	1760	3200	6.5-7.8	Gr'den ten'e
60%	Al ₂ O ₃ - 36SiO ₂	Karışım	2.7 - 2.8	0.097-0.10	zayıf	....	....	1820	3310	6.5-7.8	Gr'den ten'e
70%	Al ₂ O ₃ - 25SiO ₂	Karışım	2.8 - 2.9	0.10-0.104	zayıf	....	....	1865	3390	6.5-7.8	Gr'den ten'e
73%	Al ₂ O ₃ - 22SiO ₂	Karışım	2.8 - 2.9	0.10-0.104	zayıf	....	....	1820	3310	6.5-7.8	Gr'den ten'e
Alümina	99% + Al ₂ O ₃	Trigonal	4.0	0.144	zayıf	2040	3700	....	....	8.5-8.9	Beyaz
Erimiş Silis	99.5% SiO ₂	Typically 97% + amorphous	2.2	0.079	iyi	1710	3110	....	....	6.0-7.5	Beyaz
Silika quartz	99.5% SiO ₂	Hexagonal	2.6	0.094	iyi	1710	3110	....	....	6.4-7.5	Beyaz'dan Ten'e
Zirkon	97% + ZrSiO ₄	Tetragonal	4.5	0.162	orta	2550	4620	....	....	4.7-7.0	Beyaz'dan Ten'e

(a) **Zayıf:** Sıcaklık altında konsantre alkalilerin reaksiyonları yavaştır; **İyi:** Sıcaklık altında konsantre alkalilerin veya hidroflorik asitler çözülmesi git gide daha iyi olur; **Orta:** Sıcak konsantre alkali çözeltilerinin reaksiyonları (b) PCE Pyrometric koni eşitliği [11].



Şekil 2.8. Hassas döküm için yaygın bazı refraktörlerin lineer ısı genleşmeleri [11].

2.4.1.3. Alüminyum Silikatlar

Hassas döküm için alüminyum silikatlar, killerin pişirildikten sonra toz haline getirilmesi ya da kalıntı içeriği aralığı %42 ile %72 oranında olan, alümina içeriğine sahip diğer uygun malzemelerden elde edilirler. Karışımın refraktörlük özelliği ve maliyeti, alümina içeriyle artar. Alümina ile silika arasında, yüksek sıcaklarda %72 alümina içeren stabil bir bileşik oluşturan tek bileşik, mullit'tir (mullite - $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). %72'den daha az alüminaya sahip karışımlar ilave silika ile üretir. Silika camı formundaki malzemeler, genellikle ikinci sırada gelmesine rağmen kristobalit gibi malzemeler, bazı kristal formundaki silikalarda kullanılabilir. Alümina içeriği artarken yani mullit miktarı artarken silika miktarı %72 alümina oluncaya kadar azalır ve malzeme sadece mullit içerir. Bu malzemeler ısıtıldıktan sonra pelte haline gelinceye kadar büzülür ya da topaklanır ve seramik çamurunda kullanılmak için geniş bir aralıkta toz haline getirilerek dikkatlice ölçülendirilir.

2.4.1.4. Alümina

Alümina, boksit cevherinden bayer prosesi ile üretilir. Silika veya mullit ten daha iyi refrakter ve birçok alaşıma, silisli refrakterlerden daha az reaktiftir. Süper alaşımların dökümünde, sahip olduğu özelliklerin avantajından dolayı birincil olarak kullanılır. Genellikle erime noktasının hemen altında toz haline getirilerek imal edilir [11].

2.4.2. Bağlayıcı Malzemeler

Refrakter malzemelerin birbirine bağlaması bağlayıcı malzemeler ile yapılır. Yaygın olarak kullanılan bağlayıcı malzemeler silis ve koloidal silika, hidrolize edilmiş etil silikat ve sodyum silikattır. Alümina ve zirkon gibi hibrit bağlayıcılar bazı proseslerde kullanılmaktadır [7,11].

Bağlayıcıların ortak özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Bağlayıcılar, kalıba refrakterlik niteliğini azaltacak maddeler içermemelidir. İstenen sıcaklıklarda metalle reaksiyona girmemelidir.
- Seramik çamuru belirli bir zaman için, istenen dayanımı verecek şekilde sertleşmelidir.
- Çamurun akışkanlığı, modelleri iyice sıvayacak kıvamda olmalıdır. Özellikle etil silikat ve koloidal silika bu özellikleri taşıyan uygun bağlayıcılardır [7].

2.4.2.1. Koloidal Silika

Koloidal silika geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sodyum iyonlarının sodyum silikat'tan iyon değişimi yardımıyla ayrılması sonucunda üretilerek, su içindeki küresel silika partiküllerinin koloidal ayrışımından oluşur. Ayrışma partiküllerin bir taraftan bir tarafa hareket etmesini sağlayan iyonik çözelti içinde, stabilize edilerek topaklaşmanın önüne geçilir. Stabilize iyon genellikle sodyum olmasına rağmen (%0.6 oranına kadar) amonyakta kullanılabilir.

Koloidal silika pH asit ile de stabilize edilebilir, fakat bazı ürünlerde yaygın bir şekilde kullanılamaz. En popüler sınıf %30 silika içeriği ve ortalama 7 ila 12 nm partikül ebadı olan sodyum stabilizatörlerdir. Bu stabilizörler %30 seviyesine veya silika içeriğini %18 ile %30 arasında bir seviyeye düşürmek amacıyla su ile seyreltilmiş bir şekilde kullanılabilirler. Mükemmel sınır özellikleri sahip yapışkan jeller iyonik çözeltiyle nötralize edilmiş iyonik tuzlar ya da konsantre çözeltiler eklenerek uygulanırlar.

Koloidal silika genel amaçlı kullanılacak bir bağlayıcıdır. Ana dezavantajı ise su bazlı olmasından dolayı özellikle ulaşılması zor olan cep veya merkez bölgelerde yavaş kurumasıdır [11].

2.4.2.2. Etil Silikat

Etil silikat silikon tetrakloridin reaksiyonun etil alkolle reaksiyonundan oluşur. Temel bileşim formu tetraethylor – thosilikate tır ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$). Bu bileşiklerin teorik silika içeriği %28.8 dir. Bu sınıf hassas döküm uygulamalarında etil silikat 40 olarak dizayn edilmiş ve etil polisikatların silika içeriği %40 olan her molekülündeki beş silikon atomunun ortalaması karışımıdır.

Etil silikat bağlayıcı özelliğe sahip değildir. Etil silikat bağlayıcısı su ile reaksiyona girdirilerek (hidrolisis) bağlayıcı özelliği kazandırılır. Bu reaksiyon genellikle ortak bir çözücü olan etil alkolün içinde hidroklorik asit gibi bir katalizör kullanılarak yapılır. Reaksiyon hızlı ve yüksek bir oranda ekzotermiktir. Oluşan proses, sıcaklığın ölçümüyle izlenebilir. Reaksiyon, sıvılaştırma kapasitesine sahip kompleks sitrik asitleri iyi bağlayıcı özellikleri olan yapışkan jel forma dönüştürmek için biçimlendirir. Bu proses etkisi, konsantre yapılma işlemi ya da amonyak gibi bir alkalinin eklenmesiyle artırılır. Sonuçlar koloidal silika kullanılan benzer birçok yolla aynıdır.

Alkol tabanlı etil silikatlar, koloidal silikadan daha hızlı kurumaktadır. Buna rağmen çok pahalı ve kurum oluşturduğundan çevreye zararlıdır. En iyi şekilde kullanılacağı uygulama hızlı daldırma çevrimidir. Etil silikat çamurları, içerdikleri amonyağı atmosfere salmak amacıyla açıkta bırakılarak jelleştirilirler. Etil silikatlı uygulamalar, alkolün uçuculuk oranının hızlı olmasından kaynaklı düzgün bir kuruma sağlanamadığından, çok çabuk bir şekilde yapılması gerekmektedir.

2.4.2.3. Hibrit Bağlayıcılar

Hibrit bağlayıcılar koloidal silika ve etil silikatların avantajlarından yararlanmak için geliştirilmiştir. Etil silikatın hidrolizi için gereken su, silika kaynağının dayanımını ek olarak geliştiren bir kaynak olan, koloidal silikadan karşılanır. Alevle daha az yanma özelliği olan solventler alkol yerine kullanılabilir. Günümüzde kullanılan ürünler için, bu kombinasyonlara sahip olması arzu edilir [11].

2.4.2.4. Likit Sodyum Silikat

Likit sodyum silikatlar pahalı olmayan bağlayıcılar olduğundan, istenilen yerlerde kullanılırlar. Camsı yapılarından dolayı güçlü bir biçime sahiptir ve buda buharlaşmalarını etkiler. Sodyum silikat bağlayıcılar küresel yapılarının sınırlamalarından kaynaklı zayıf refraktörlerdir. Bununla birlikte, otoklavda mumun ayrıştırılması esnasındaki buharlı atmosfere karşı dayanımları yoktur. Buna rağmen koloidal silika veya etil silikatların birleşmeleri sonucunda bazı kullanım alanı mevcuttur.

2.4.2.5. Diğer Bağlayıcı Malzemeler

Bu malzemeler reaktif olan süper alıştırma uygulamalarında, döküm kalıbın uzun süre yüksek sıcaklıkta bırakılması ile yapılan kontrollü katılaştırma prosesi operasyonlarıyla ilgili olan refraktör malzeme miktarını etkilemektedir. Koloidal alümina ve koloidal zircon bağlayıcılar bu amaçla yapılmıştır. Buna rağmen her iki malzemenin oda sıcaklığındaki bağlayıcı özellikleri koloidal silikadan daha etkilidir.

2.4.3. Diğer Malzemeler

2.4.3.1. Nemlendirici Elemanlar

Refraktör ve bağlayıcılara ek olarak seramik kaplama çamurları anyonik veya noniyonik olan sodyum alkil aril sülfonat, sodyum akril sülfat ya da octylphenoxy polyethoxyethanol gibi sıvı elemanlar yardımıyla, model yüzeyinin ya da ilk çamur katmanının nemlenmesine yardımcı olmak için kullanılır. Bu elemanlar genellikle sıvı ağırlığının %0.03 ile %0.3 arasındaki bir miktarda kullanılır. Nemlendirici elemanlar bazen etil silikat/alkol ve su bazlı çamur karışımlarına katılmazlar [11].

2.4.3.2. Köpürtmeyen Bileşikler

Özellikle ilk kat atılırken sıvı elemanların kullanıldığı yerlerde köpük oluşmasını engelleyen ve hava kabarcıklarının kaçmasını sağlayan köpük önleyici

içeriği olan elemanlar kullanılabilir. Yaygın olarak köpük önleyiciler; su bazlı silikon emisyonları, n-octyl ve 2-ethyl hexyl gibi alkoller sıvı yağlı alkollerdir. Çeşide bağlı olan bu formülasyon sıvı ağırlığının %0.002 ile %0.10 gibi çok düşük konsantrasyonlar da etkilidir.

2.4.3.3. Çeşitli Bileşenler

Film şeklindeki organik bileşikler, bazen kuruyan katmanın dayanımının ve elastikiyetinin artırılması ya da seramik çamurunun kaplama özelliğinin artırılması için kullanılır. Su bazlı polivinil asetat emisyonu, polivinil alkol ve amonyum aljinat bu amaçla kullanılır. Küçük bir kil katkısı da kaplama karakteristiğini geliştirmektedir. Eş eksenli süper alaşım dökümleri ve çekirdek iyileştirilmesi gibi tane büyüklüğünün kontrolünün gerektiği yerlerde ilk seramik çamura, çamurun refraktör ağırlığının %0.5 ile %10 değeri oranında eklenirler. Tercih edilen çekirdek iyileştirme malzemeleri alüminatlar, silikatlar, titanatlar gibi refraktör kobalt bileşikleri ve oksitlerdir.

2.4.4. Seramik Çamuru Formülasyonu

Seramik çamuru oluşturan bileşiklerin esas oranı, tanecik yapılı refraktör tozu, bağlayıcı konsantrasyonuyla çeşitlerine, sıvı taşıyıcı ve arzu edilen çamur viskozitesine bağlıdır. Bileşik genellikle Çizelge 2.4’de ki ağırlık oranına denk gelir.

Çizelge 2.4. Seramik çamuru oluşturan malzemelerin oranları

Bileşim Maddesi	Oran (%)
Bağlayıcı katılar	5-10
Sıvılar (bağlayıcıdan veya eklenen)	15-30
Refraktör toz	60-80

Günümüzdeki opsiyonel diğer bileşik malzemelerin miktarlarından daha önce bahsedilmişti. Çamur bileşikleri genellikle bellidir, fakat zirkon içeren bileşimlerin oranı Çizelge 2.5’te verilmiştir [11].

Çizelge 2.5. Zirkon seramik çamur çeşitlerin formülleri ve özellikleri [11].

Seramik Çamur	Bileşikler										Özellikler		
	Kolloidal Silika		Su		Zirkon Tozu		Sıvı Malzeme		Silika		Yoğunluk		Viskozite, s (a)
	L	gal.	L	gal.	Kg	lb	cm ³	Fl oz	Kg	lb	g/cm ³	lb/in ³	
1 (b)	9.5	2.5	3.8	1.0	45	100	10	0.34	...	...	2.7 - 2.75	0.097 - 0.099	8 - 10
2 (c)	11.4	3	...	...	45	100	10	0.34	...	...	2.9 - 2.95	0.104 - 0.106	9 - 11

(a) Viskozite kabı (Zahn cup)

(b) Genel amaçlı seramik çamur

(c) Demir malzemelerin dökümü için kullanılan seramik kalıplar için uygun yüksek dayanımlı seramik çamur.

Çeşitli refraktörlü çamur karışımları birinci ve ikinci seramik çamur olarak kullanılabilir. Özel çamur karışımları, döküm sonucu elde edilen parçaların istenilen ölçüler ve bitmiş yüzey özellikleri üretebilmek için gerekli olan seramik kalıbın özelliklerine göre belirlenir. Örneğin, birincil çamur, özellikle ilk katman olarak uygulandığında, -200 ile -325 arasındaki refrakter taneciği büyüklükleriyle oluşturulur. Birincil katmanı oluşturan çamur megasol ile birlikte -200 büyüklüğünde eritilmiş silika ve -325 zirkon refrakter taneciği karışımı içerir. Zirkon refraktör taneleri erimiş metale dayanıklılık sağlarlar. İnce zirkon taneleri aynı zamanda pürüzsüz ve detaylı yüzeylerin dökümden sonra oluşmasını sağlarlar. Bu çeşit birincil seramik çamurlar, erimiş silika ve zirkonun her ikisini içeren çeşitli tane büyüklüklerinde seramik dolgu malzemesini kullanır. Birincil seramik çamuru aynı zamanda bir veya daha fazla iyonik olmayan yüzey aktif katkı maddesi kullanır. iyonik olmayan yüzey aktif katkı maddelerinden biri PS9400 dür. Bu malzeme çamurun süzülme esnasında mumun üzerine ıslatabilme yeteneğini geliştirir. Yüzey aktif katkı malzemeleri, bileşiğe bağlı olarak çeşitli oranlarda kullanılabilir. Örneğin, erimiş silika ve zirkonla birlikte megasol kuru bir karışım içeren seramik çamurunda megasolun ağırlığına bağlı olarak %0.2 oranında yüzey katkı malzemesi kullanılabilir.

İkinci çamur katmanı, özellikle destek amacı için kullanılan seramik çamurlarda, genellikle ilk seramik çaplamada kullanılan daha kalın kum tanecikleri kullanılır. Örneğin, bu katmanda kullanılan erimiş silikanın tanecik aralığı -80 ile -270 arasındadır. Destek katmanı için kullanılan bu kuru karışım ve su bazlı koloidal silika miktarları geniş bir aralıktadır. Tipik olarak kuru karışımın miktarı ağırlığın %60 ila %80 i arasındadır. Geri kalanı ise su bazlı silika çözeltisidir.

Üreticilerin kullandığı, refraktör fiber, cam fiber, su bazlı koloidal silika çözeltisiyle oluşturulacak seramik dolgu malzemeleri refraktör çamur karışımlardan birine örnek vermek gerekirse; 100 gram orleans one refraktör, 20 gram 731 ED 1/8” öğütülmüş E fiber glas, 715 gram tane büyüklüğü 120 olan eritilmiş silika ve 715 gram tane büyüklüğü 200 olan erimiş silika seramik dolgu malzemesi, içeriğinde katı katı içeriğinin %45 inin olan, pH seviyesi 9.5 ve %0.2 Na₂O içeren 1000 gram değerinde refraktör kuru malzemedir. Bu oranlar karışım ihtiyacına göre oranlanabilir.

Seramik kabuklar için kopma modülünün hesabı yapılabilmektedir. Örnek numune olarak 1 inch genişliğinde 6 inch uzunluğunda ve 0,3 inch kalınlığındaki malzemeyi iki parça üzerine yerleştirip (köprü biçiminde) üzerine yük yüklenerek belirlenir. Kopma modülünün formülü;

$$R = (3WI) / (2bd^2) \quad \text{Denklem 2.1}$$

R = Kopma modülü (Bar)

W = Yük (kg)

I = Köprü ayakları arası mesafe (mm)

b = Genişlik (mm)

d = Derinlik (mm)

Oluşturulmuş seramik kabukların gaz geçirgenliği aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$K = VFT / AP \quad \text{Denklem 2.2}$$

K = Gaz geçirgenliği (cD)(centidarcys)

V = Kullanılan gazın viskozitesi (cP)(centipoises)

F = Gaz akış oranı (ml/s)

T = Örnek kalınlık (cm)

A = Örnek alanı (cm²)

P = Örnek üzerinden geçerek atmosfere çıkan akışkan üzerindeki basınç düşümü [16]

2.5. Seramik Çamurunu Hazırlama ve Kontrol

2.5.1. Hazırlık

Seramik çamur, refraktör tozun bağlayıcı sıvıya atılmasıyla oluşturulur. Refraktör tozun atılması sırasında topaklaşmayı engellemek amacıyla karışımın yeteri kadar karıştırılması gerekmektedir. Başlangıç viskozitesi, hava kabarcıkları ve partiküllerin ıslak olmamasından kaynaklı oldukça yüksek olacak şekilde belirlenmelidir. Buna rağmen karışım, sürekli olarak viskozitesinin kullanım öncesinde kaba boşaltılıncaya kadarki haline düşene kadar karıştırılmalıdır. Sürekli karıştırarak üretim esnasında tozun çökmesini engellemek için gerekir. Döner tanklar ve pervaneli mikserler bu amaçla kullanılır. Genellikle karıştırma işlemi başlangıçtaki topaklaşma hızından daha küçük orandaki bir hızda, karıştırma yapılarak hazırlanır.

2.5.2. Kontrol Prosedürü

Dökümhaneler arasında oldukça değerli olan seramik çamuru için kontrol prosedürü, kısmen geniş aralıktaki farklı ürünlerin özelliklerine yansıyan üretim hattına bağlıdır. En yaygın kontrol şekli, seramik çamurunun viskozitesi ve başlangıçta kullanılan malzemelerin ölçümüdür. Sonraki ise viskozite kabı ya da brookfield tipinde dönen bir viskometre ile viskozite ölçümüdür.

Sık sık kontrol edilen, seramik çamur sıcaklığı, yoğunluğu ve pH seviyesi gibi değerler, kolaylıkla belirlenebilen diğer parametrelerdir. Zaman tüketimi ve daha

fazla değerin elde edilmesi, seramik çamurunun, su içeriği, silika bağlayıcı ve refraktör tozla ilişkisinin belirlenerek, gerçek bileşiğin elde edilmesiyle gerçekleşir. Buna rağmen, bu çeşit analizler az sıklıkta uygulanır ve bazen kontrolden daha çok işlev bozukluklarının düzeltilmesi için kullanılır. Birkaç dökümhanede kullanılan seramik muhafaza testinde, yapışkanlık özelliği içeren seramik çamurunun gerçek ağırlığı, şartların kontrol edildiği standart bir test plakasında, belirlenir.

Tamamlanmış seramik kabuklar, ağırlık, kopma modülü, geçirgenlik gibi izlenebilen bazı özellikler içerirler. Kabuğun sıcak haldeki dayanımı belirleyen ekipmanlar endüstride nadir bulunur ve araştırmalar için kullanılır.

2.5.3. Model Salkımının Hazırlanması

Daldırma işleminden önce model salkımı genellikle, enjeksiyon yağlayıcıları, küçük mum parçaları ya da kirlerin ayrıştırılması için temizlenir. Temizleme işlemi suda eriyen malzemelerden oluşan su çözeltisi, muma etki etmeyen solvent ya da kontrollü bir şekilde mumun her tarafında döküm yüzeyine etki etmeksizin çamurun yapışmasını sağlayan, üniform etki oluşturan solvent karışımları gibi uygun bir çözelti içinde salkımın durulanmasıyla mükemmelleştirilir. Bu işlemden sonra, ek bir temizleme işlemide, temizleme malzemelerin kaldırılması için kullanılır. Mum salkımının yüzeyinin hidropolic ile kaplanmasına yarayan, ultra ince refraktör oksit katmanı oluşturan sıvıya daldırma işlemi, diğer bir prosedür. Böylece mum salkım seramik çamurla ıslatılmış olmaktadır. Bazen uygulama esnasında farklı çözümlerde uygulanabilir.

Mum salkım daldırma işleminden önce genellikle kurumaya bırakılır. Kurutma işlemi salkım parçalarının ölçüleri üzerinde istenmeyen çekme sonuçları doğuran bir soğuma etkisi oluşturur. Bu yüzden mum salkım genellikle, oda sıcaklığına dönene kadar beklemesine izin verilmelidir [11].

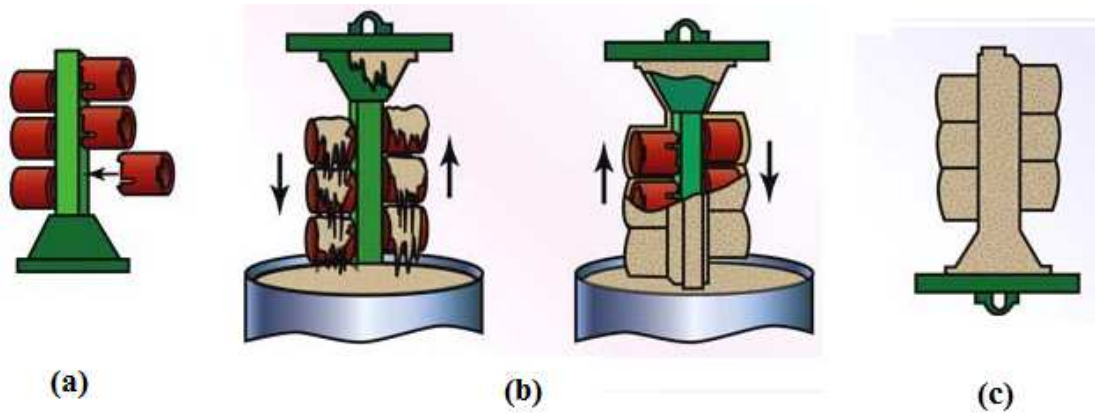
2.5.4. Kaplama ve Kurutma

Mum salkım daldırma, süzme ve kumlama işleminden sonra elle, robotla ya da mekanik şekilde dışarı çıkartılır. Firmalar genellikle üretimi arttırabilmek, büyük parçalı salkımlar oluşturmak ve daha üniform bir kaplama yapabilmek için robot kullanımını arttırmaktadırlar. Şekil 2.9'da seramik çamur kaplama için robot kullanımı gösterilmektedir. Robotları kullanan yerlerde, robotlar yetenekli operatörler tarafından tekrar üretim yapılabilmek için sık sık programlanması gerekmektedir. Bu iş için özel hazırlanmış mekanik ekipmanlar, özellikle standart salkımlarda ve bazı uygulamalarda, bazen daha hızlı kullanılabilir. Daldırma işlemlerinin çoğu atmosfer ortamında yapılır. Vakum altında daldırmak dar geçit yeri olan kaplama ve hava kabarcıklarının engellenmesinde çok etkilidir. Fakat pratik değildir.



Şekil 2.9. Seramik çamur kaplama için robot kullanımı [10]

Temizlenmiş ve uygun durumdaki mum salkım birincil çamura daldırılır ve çevrilir. Bu işlemten sonra çıkarılıp, uygun bir şekilde üniform bir kaplama üretebilmek için çamur tankının üzerinde süzülür. Sonraki aşamada yağmurlama işlemine benzer bir kumlama ya da akışkan partikül yatağı içinde kaplama işlemine tabii tutularak toz kaplanır. Akışkan partikül yatağıyla toz partikülleri basınçlı havanın tabandaki delikli bir levhadan geçmesi yüzünden kaynar sıvı gibi davranır. Şekil 2.10. Mum modelin kaplanması sembolik gösterimi gösterilmiştir. [11].



Şekil 2.10. Mum Modelin kaplanması (a) Mum model; (b) Seramik kaplanmış mum model; (c) Seramik kalıp [17].

Genellikle birinci çamur ince refraktör tozu içerir. Bu çamur yüksek viskozitelerde kullanılır ve diğer katmanlara göre daha iyi partiküllerle kaplama yapar. Bu karakteristikler yumuşak yüzeyli bir kalıba, metalin nüfusiye etmesi esnasında, direnç gösterebilme kapasitesi sağlar.

İkincil katmanlar birinci katmanın üzerine yüksek direnç ve gerekli kalınlığın imal edilebilmesi sağlamak amaçlı kaplama yapmak için formüle edilmiştir. Bazen ikincil katmanın yapılmasına başlanmadan önce, bir veya iki tane birincil kaplama yapılır. Kaplama katmanlarının sayısı salkımın ebatları ve dökülen metalle ilişkilidir. Katman aralığı küçük salkımlar için 5 büyük salkımları için 15 olacak şekilde bir aralıkta olmalıdır. Birçok uygulamada aralık 6 ila 9 arasındadır.

Katmanlar arasında çamur kuruma ya da jelleşme sayesinde sertleşir. Sıcaklığı ve nem oranı kontrol edilen oda sıcaklığındaki hava ile kurutma bu işlem için en yaygın olarak kullanılan metottur. Kuruma genellikle açık askılarda veya konveyörle olur. Fakat kabinler ya da kurutma tünelleri de kullanılabilir. Şekil 2.11’de kurutma hatlarına örnek gösterilmektedir [11].

Kurutma işlemi mumların yüksek ısı genleşme ve büzülme karakteristiklerinden dolayı karmaşık hale gelir. Eğer çok hızlı kurursa soğurma etkisinden kaynaklı mum model üzerindeki katman, ıslak ve sertleşmemiş haldeyken mumun çarpılmasına sebep olabilir. Daha sonra, katman dayanımı ve çekme

miktarını artarken, mumun kuruma oranı azalır, genleşmeye başlar ve sıcaklığını geri kazanır. Bu esnada katmanlar kırılabilir. Bu yüzden nem oranı genellikle %40 ın üzerindedir. Normal koşullar için nem oranı %50 olarak ön görülmüştür. Temel nokta, mum ve kuruyan hava arasındaki maksimum sıcaklık farkı çok fazla olmamasıdır. Pratikte maksimum farkının 4°C ile 6 °C olması tavsiye edilir.



Şekil 2.11. Kurutma hatları (a) Askılı kurutma hattı; (b) Kurutma fırını [10]

Seramik çamur, katmanlar arasında tamamen kurumak zorunda değildir. Fakat bir önceki katman, bir sonraki katmanı kaldıracak şekilde yeteri kadar kurutulmalıdır. Alternatif bir teknik olarak seramik çamurun kurumasını beklemeden kimyasal jelleşme yardımıyla sertleştirilmesi önerilebilir. Bu olay, içerdiği amonyaklı atmosfere vererek yüzeyi jelleştiren etil silikat bağlayıcılarla oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Kimyasal jellerle sertleştirme, katmanların oluşturulabilmesi için, minimum zamanı verir. Aynı zamanda jelleşme, jelleşmeyi sağlayacak katkı malzemelerinin katman oluşturulurkenki tozlara katılarak ya da alternatif alkalın ve asidik çamurlarla veya daldırma işlemleri esnasında negatif ve pozitif yüklenmiş çamurlara eklenerek yapılabilir. Kuruma işlemine tabii tutulmadan jelleşme ile elde edilmiş seramik kalıplar sonradan kurutulduklarında bile genellikle zayıftırlar. Jelleşme işleminde, buharlaştırılmamış solventlerin ağırlığı çok fazla olabilir ve mum salkımının çarpılmasına hatta bazı hallerde kırılmasına sebep olabilir [11].

2.6. Seramik Ana Yolluğun Oluşturulması

Yolluk, mum modelin sağlıklı olarak elde edilmesindeki önemli etkenlerden biridir. Yolluğun ana modelin genellikle orta kısmından ve et kalınlığı en kalın olan bir yerinden verilmesi büyük önem arz etmektedir. Böylece mumun model boşluğunun en uç noktalarına ulaşması sağlanır, çöküntü ve çekmede önlemiş olunur [14].

Hassas dökümde seramik kabuk yöntemi, iç yollukları oluşturmak için geniş bir şekilde kullanılır. Hassas döküm ana yollukları kalıp oluşturma işleminde kendi formlarında ya da uygun bir şekilde ayrı olarak imal edilirler [11].

2.6.1. Kendiden Şekillendirilmiş Ana Yolluklar

Kendinden şekillendirilmiş ana yolluklar için, hali hazırda dökümde arzu edilen yollukların yerini tutan boşluklara sahip bir mum modele ihtiyaç vardır. Basit şekiller için metal yolluklar kullanılır. Ana yolluklara, çözülebilir mumdan yapılmış model parçalarının yerleştirilebilir veya model parçalarının etrafına enjeksiyon yapılarak elde edilmiş tutamaç şeklindeki parçalar eklenir. Çözünebilen yolluk, su bazlı bir asidin içerisinde, mum modele etki etmeyen bir solüsyonla çözülerek dışarıya çıkartılabilir. Çözünebilen yolluklar genellikle katı polietilen glükol'le beraber, sodyum bikarbonat ya da kalsiyum karbonat gibi toz dolgu malzemesinden oluşur. Dolgu malzemeleri, çözülme prosesinin hızının artırılmasını sağlayan asidin içinde yüksek oranda gaz yayarak çözünürler.

Boşlukların yeteri kadar geniş olduğu yerlerde kendinden şekilli ana yolluklara, normal kabuk oluşturma işlemi sırasında kaplama işlemi yapılır. Fakat boşlukların derin ve dar olduğu yerlerde, kabuk oluşturma işlemi özel gereksinimlere ihtiyaç duyan yolluklarla modifiye edilmiş olmalıdır. Seramik çamurunun viskozitesi, sıvama partiküllerinin çeşidi ve kuruma işlemi için özel dikkat gerekebilir. Vakumlu daldırma yöntemi, bu durum için mükemmel bir araçtır. Etil silikat ya da etil alkol, seramik çamurların kuruma problemini azaltır. Kendiden şekilli yolluklar geniş

olarak teçhizat parçaları imal eden dökümlerde maliyetlerin düşürülmesi için kullanılır.

2.6.2. Önceden Oluşturulmuş Çekirdek Yapılar

Kendinden şekilli yolluklar, önceden oluşturulmuş çekirdek yapıların üstesinden gelebildiği birkaç sınırlamaya sahiptir. Önceden oluşturulmuş çekirdek yapılar, ayrı kalıplanarak ve birkaç seramik şekil verme yöntemi uygulanarak üretilebilirler. Kullanılan basit tüpler ve çubuklar yaygın olarak silika camından ekstrüde edilerek elde edilir. Birçok yapı, özellikle büyük olanları, döküm yapılarak ya da etil silikatlar çamurlardan alüminyum kalıplarda enjeksiyon işlemiyle üretildikten sonra jellenerek elde edilir. Uygulanan teknoloji seramik kalıp uygulama teknolojisiyle aynıdır.

Birçok çekirdek yapı enjeksiyon kalıbıyla yapılır. Az sayıdakiler ise transfer kalıbıyla yapılır. Seramik enjeksiyon kalıpları, bir organik araç içindeki ince seramik toz karışımı enjeksiyonu yapılanlar haricindekiler, plastik enjeksiyon kalıplarına benzerler ve genellikle sertleştirilmiş çelik kalıplar kullanırlar. Ham bağlayıcı fonksiyonlarına sahip, organik bir araç olan polietilen, etil selüloz, şellak, reçine, mumlar ile naftalin ve paradiklorobenzen gibi süblimleşen organik bileşikler termoplastik materyallerde kullanılır. Form aldıktan sonra çekirdek yolluk, iki aşamalı ısıtma işlemine tabii tutulur. İlk aşamada, yapıyı bozmadan organik malzemeler kaldırılır (bazen uzun bir zaman alır), ikinci aşamada ise son ölçülere ve mukavemetine getirmek için sinterlenir.

Transfer kalıpları enjeksiyon kalıplarına benzer. Başlıca farkı yumuşatılmış olan termoplastik ile seramik tozu basınç ve sıcaklık altında sertleştirilecekleri bir kalıbın içine enjekte edilmesidir [11].

Her ne kadar seramik çekirdek yapılar için dikkate değer bir sayıdaki malzeme önerilmiş olsa da yolluklar, bazen içine zirkon eklenen erimiş silikadan yapılırlar. Erimiş silika yolluklar yeterli kadar refraktörlük ve açık bir kap ya da

otoklav içindeki bu bazlı kostik çözeltileri olan erimiş kostik banyosunda ve hidroflorik asit çözeltileri içinde kolayca süzülmesini sağlarlar.

Önceden oluşturulmuş çekirdek yapılar genellikle kalıba yerleştirilerek ve etrafına mum enjekte edilerek kullanılırlar. Bazı basit şekiller için, model parçaları imal edilir edilmez içine sokularak kullanılır. Yolluklar, kabuk kalıptan farklı bileşik ve ısıtma oranından dolayı farklı genleşirler. Buna yüzden herhangi bir ebattaki çekirdek yolluklar kalıba kaymalı geçme ile yerleştirilmelidir.

2.7. Modelin Çıkartılması

Kabuk kalıptan modelin çıkarılması, kalıbın üzerinde stres yaratan işlemidir ve genellikle problemlerin kaynağıdır. Bu problemler, mum model parçalarında oluşan ısı genleşmelerin birçok kez kalıplar için kullanılan refraktörler tarafından etkilenmesiyle ortaya çıkarlar. Model mumları sıvı hale getirilmek için eritildiğinde, bu genleşme farklılıkları kalıbı çatlatarak veya parçalayacak kapasitede, çok büyük basınç oluşturur. Pratikte bu olay etkin bir şekilde seramik kalıbın dışının çok hızlı bir şekilde ısıtılmasıyla önlenir. Bu durumda mumun dış yüzeyinin, modelin geri kalanından çok daha hızlı bir şekilde erir. Bu erimiş katman hem kalıptan dışarı akar hem de içini ıslatır, böylece kalan ısıtılan mumla genleşmeye uyum sağlamak için boşluk sağlanır. Eritip dışarı çıkarmada kabuk üzerinde basınç bazen matkapla mum üzerine delikler delinerek sağlanır.

Bu tekniklere rağmen, kabuklar yüksek gerilmeye maruz kalmaktadır. Bu nedenle, kabuk mümkün olduğu kadar güçlü olmalıdır. Aynı zamanda mum dışarı çıkartılmadan önce seramik kalıp tamamen kurutulmalıdır. Kurumanın tamamen sağlanabilmesi için, seramik kabuk katmanının kaplanmasıyla sonra 16 ile 48 saat süresine varan kurutma işlemi tabii tutulmalıdır. Kurumanın etkisi bazen oldukça düşük nem sağlayan uygulamalarla veya vakum uygulamalarıyla artırılır.

Yüzeyin erimesi kavramını sağlayabilmek için bir miktar metot geliştirilmiştir. Fakat sadece mumun otoklav içinde eritilip çıkarmasıyla, yüksek sıcaklıkta hızlı eritilmesi uygulamalarını içeren iki tanesi geniş kullanım alanına sahip olmayı

başarmıştır. Ek olarak, küçük firmalar arasında yatırım maliyetlerinin azaltılması için sıcak sıvı mum ayrıştırma uygulaması kullanılmaktadır.

2.7.1. Otoklav Yardımıyla Mumun Ayrıştırılması

Otoklav içinde mumun ayrıştırılması işlemi geniş bir şekilde kullanılan bir metottur. Hızlı basınç oluşturabilmek için, genellikle buhar jeneratörüne sahip etrafı cidarla kaplanmış bir kap içinde doymuş buhar kullanılır. Çünkü hızlı ısıtma başarının anahtarıdır. Otoklav birkaç kalıbın üzerinde duracağı bir kayan ray, emniyet kilitli çabuk etki eden bir kapı ve otomatik mum boşaltan bir valf ile ekipmanlandırılır. Yaklaşık 550 ile 620 kpa arasındaki operasyon basıncına 4 ile 7 saniye arasında ulaştırılır. Kalıplardaki mumun ayrıştırılma işlemi yaklaşık 15 dakika içinde veya daha az bir zamanda gerçekleşir. Mum geri kazanımı iyidir. Polisitren parçalar otoklav içinde eritilemezler.

2.7.2. Hızlı Ayrıştırma

Hızlı ayrıştırma seramik kalıbın 870°C ile 1095°C arasındaki sıcak ile fırına konulmasıyla gerçekleştirilir. Fırın, genellikle mum erir erimez aşağı dökülmesi için tabanı açık yapılmıştır. Mumun bir kısmı dökülürken yanmaya başlar. Bu uygulamada, mumun çıkartılma işlemi için otoklavdan bile daha büyük potansiyel vardır. Mumun bir kısmı yanmasına rağmen, bu operasyondaki mum mümkün mertebede geri kazanılır. Hızlı ayrıştırma fırını atmosferin kirlenmesini engellemek için baca içerisine gaz yakıcı bir sistem ile imal edilmelidir. Polisitren modeller hızlı ayrıştırma esnasında yanarlar, fakat polisitren modeller çok küçük parçalardan oluşmuyorlarsa ve mumun içine yerleştirilmezse çoğu kez kalıpların çatlamasına neden olur.

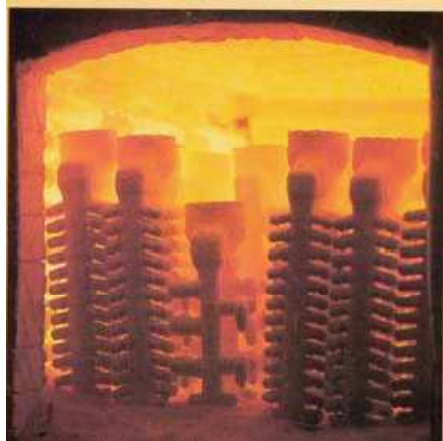
2.7.3. Sıvı Ayrıştırma

Sıvı ayrıştırma minimum yatırım gerektirir. Bu uygulamada 177°C deki sıcak mum sık sık kullanılır. Diğer sıvı malzemelerde kullanılabilir. Çevrim, otoklav için

olandan ve hızlı ayrıştırmadan biraz daha uzundur. Potansiyel yangın durumu vardır [11].

2.8. Seramik Modellerin Pişirilmesi

Seramik kabuk kalıplar, nemlerinin kaldırılması, model parçalarının kalıntılarıyla çamur içinde kullanılan organik malzemelerin yakılıp kül edilmesi, seramiğin sinterlenmesi ve döküm için kalıbın ısıtılması için pişirilirler. Şekil 2.12’de seramik kalıpların fırında pişirilmesi gösterilmektedir. Bazı hallerde bütün işlem bir kere pişirme işlemiyle tamamlanabilir. Diğer hallerde, ikinci bir işlemle önceden ısıtma uygulanır. Bu sayede kalıbın sıcaklığının aşağı düşmesine, incelenmesi ve eğer gerekliyse tamir edilmesine imkân tanınır. Çatlamış kalıplar seramik çamur veya özel çimentolarla tamir edilebilir. Bu olay çatlakları iyileştirmez, fakat onları kapatır ve başarılı bir döküm yapılabilmesi için kabuğu destekler. Birçok kalıp, döküm operasyonu ve ön ısıtma fırını arasında meydana gelen sıcaklık düşmesini azaltmak ya da kalıbın izole edilen belirli bölgeleri desteklemek için seramik fiber battaniye ile sarılmıştır.



Şekil 2.12. Seramik kalıpların fırında pişirilmesi [7]

İndüksiyon bobini ya da rezistansla ısıtma sağlanan döküm fırını içinde ön ısıtılma yapılmış, kontrollü katılaşma prosesinde kullanılan kalıplar hariç, kalıbın pişirilmesi ve ön ısıtma işlemi için gazla çalışan fırınlar kullanılır. Tek seferlik partiler için veya sürekli ısıtma sağlayan konveyörlü fırınlarda yaygındır, fakat bazı

dönen fırınlarda kullanılır. Birçok fırın ateş tuğlasıyla yalıtılmış olmasına rağmen, seramik fiber ya da parlak duvarla yalıtılmış fırınlarda kullanılmaktadır. Bu fırınların son iki faydası ise hızlı ısınıp ve soğuması sayesinde iyi bir yakıt ekonomisi sağlamasıdır. Konvansiyonel ve seramik fiberli fırınlar duman emisyonunun azaltılması ve yakıt ekonomisi için seramik ısı eşanjörüyle donatılabilir. Özellikle ön ısıtmalı fırınlarda üniform sıcaklık sağlamak için iyi bir sirkülasyon gerekir. Organik materyallerin tamamen yandığından emin olmak için sonradan yakılma (burnout) fırınından yaklaşık %10 ilave hava sağlanır.

Sonradan yakılma işlemi yaygın olarak 870°C ve 1095°C sıcaklıkları arasında olmaktadır. Birçok kalıp sıcak fırının içine yerleştirilir, fakat bazı kalıplar düşük sıcaklıkta yerleştirilip ve kademeli olarak ısıtılırlar. Bu işlemi kapsayan kalıplar kristalin silikadan yapılır ve kalıbın bazı parçaları radyasyondan korunur. Ön ısıtma sıcaklığı, döküm alaşımına ve parça konfigürasyonuna bağlı olan, sonradan yakılma sıcaklığının altında, geniş bir oranın üzerinde çeşitlilik gösterir. Alüminyum alaşımları için 150°C ile 540°C arası, birçok bakır alaşımları için 425°C ile 650°C arası ve çelik ve süper alaşımlar için 870°C ile 1095°C sıcaklıkları arasında yaygın olarak kullanılır. Kontrollü katılaşma prosesi için kalıplar dökülecek alaşımın likidus sıcaklığının üzerinde ön ısıtılmalıdır [11].

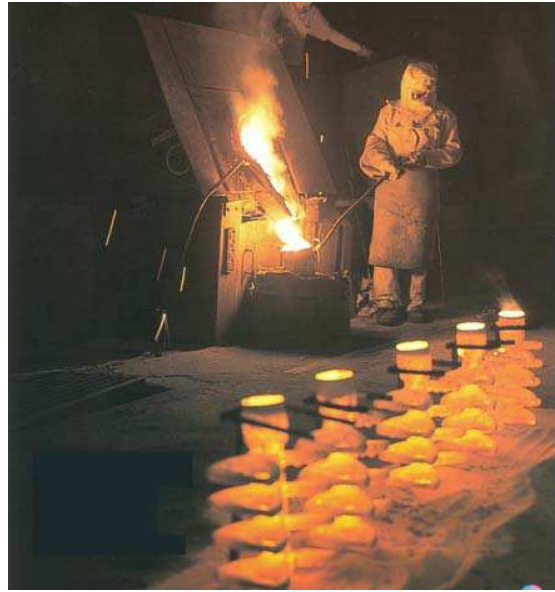
2.9. Eritme ve Döküm

2.9.1. Eritme Ekipmanları

Geçmişte, hassas dökümün endüstrisinin ilk zamanlarında karbon çubuklu ark fırınları kullanılırdı, fakat esnek ve ekonomik işletilen bu çok fırınlar yavaş yavaş indüksiyon fırınlarıyla yer değiştirdiler. İndüksiyon fırınları metotları hassas dökümün özel gereksinimleri için geliştirilmiş çeşitli döküm yöntemleri ile birlikte kullanılır. Bugün, birçok hassas döküm malzemesi endüksiyon fırınlarıyla eritilmektedir.

Kullanılan fırınlar çekirdeksiz tip ve genellikle personelin eritme için potaları hazırladığı bir uygulamadır. Fırınlar, etrafı erime potasıyla çevrili su soğutmalı bakır

bobin, alternatif akımla bobini enerjilendirecek güç kaynağı ve uygun bir elektriksel kontrolden oluşur. Alternatif akım bobinin üzerinden geçip, metal yükleri üzerinde girdap akımı oluşturarak alternatif akımlı manyetik bir alan oluşturur. Isıtma etkisi yüklerin akım akışına karşı gösterdiği direnç sonucunda kendiliğinden oluşturulur. Şekil 2.13'te endüksiyon ocağında döküm için eritilmiş metal gösterilmektedir. Ocakların ilk modellerinde, kıvılcım aralığını ayarlayan çeviriciler ya da güç kaynağı olarak ayarlanmış jeneratör seti kullandı, fakat bugün katı hal güç kaynakları standarttır.



Şekil 2.13. Endüksiyon ocağında döküm [7]

Hassas döküm için çoğu endüksiyon fırını 7.7 ile 340 kg arasında döküm kapasitesine sahiptir. Döküm genellikle modelin üzerine boşaltılmasına rağmen, bazı küçük ters çevrilebilen modeller, çok hızlı kalıp doldurulmasının gerektiği yerlerde kullanılır. Yaygın olan erime oranı 1.36 kg/dk dır, fakat erimeye ve güç kaynağının ebadına bağlıdır. İndüksiyon ocakları inert atmosferde ya da vakumda eritme işlemi için de kullanılabilir. Genel olarak çelik, demir kobalt ve nikel alaşımları, bazen de bakır ve alüminyum alaşımların eritilmesi için kullanılırlar. Kullanılan potalar, magnezyum oksit, alümina ve zirkonyum dioksit malzemelerinden alçı döküm, thixotropic döküm, kuru presleme ya da isostatik presleme yöntemiyle oluşturulur. Vakum dökümü için, konvansiyonel seramik kabuk tekniğiyle veya erimiş silikadan alçı dökümle yapılmış tek kullanımlık tuğlalar kullanılır [11].

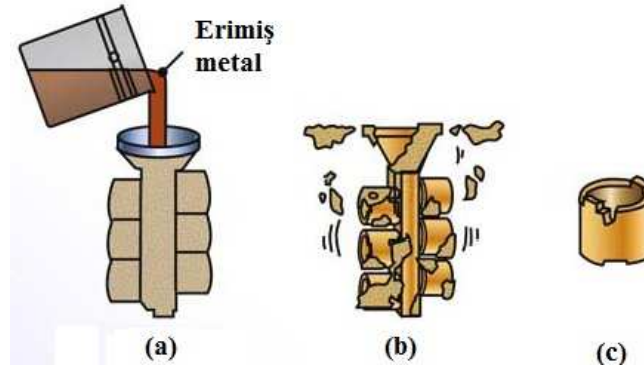
Alüminyum döküm için, gazla ısıtılmış potalı fırın ya da rezistans ocağı kullanılır. Gazla ısıtılan kilden yapılmış pürüzsüz grafit potalar kullanan ocaklar, alüminyum ve bakır dökümler için iyi sonuçlar vermektedir ve bu ocaklar pahalı değildir. Silikon karpit potalar bazen bakır tabanlı alışımlar için kullanılır. Rezistans ocakları yanan ürünleri bertaraf eder ve hidrojen gözenekliliğini azaltır. Magnezyum gazla ısıtılan ocaklarda düşük karbonlu çelik potalar kullanarak eritilebilir.

Eriyebilen elektrotlu, ince cidarlı, vakum ark fırınlar, orijinal uygulaması U.S madencilik odasında geliştirilen bir prosesle, titanyumu eritmek ve döküm için kullanılır. Uygulama esnasında kullanmak üzere alaşımın, dökümden yapılmış bilye şeklindeki eriyebilen elektrotu kullanılır ve su ile soğutulan bir bakır pota içinde vakum altında alaşım eritilir. Pota, iç yüzeyinde katılaşmış alaşımı olan ve erime işlemi sırasında potanın kirlenmesini engelleyen, ince sabit bir cidara sahiptir. Erimiş alaşım potanın içinde kalıbı dolduracak miktarda olup dökülene kadar birikir. Bu ocakların çeşitli ebatları mevcuttur ve kapasiteleri 522 kg a kadar olabilir. Bu ocaklar her yerde bulunmamaktadır, çünkü birkaç şirket titanyum hassas dökümü yapmaktadır. Fakat bu işin teknik zorlukların yansımaları, herhangi bir pazarın yokluğunun olmayışından daha iyidir.

Elektron ışını kaynağıyla titanyum dökümü, vakum ark ocaklarının bir alternatifi olarak Avrupa da kullanılır. Elektron ışını kaynağı United states'te süper alaşımların kontrollü katılaşması ve tek kristalli dökümlerde, bir uçak motoru firmasında kullanılmaktadır. Elektron ışını kaynağıyla yapılan eritme işlemi, eriyebilen elektrotlu vakum ark eritme yöntemine, elektron ışınının vakum arkının içine yerleştirilmesi haricinde basit bir şekilde benzetilmektedir.

2.9.2. Döküm Yöntemleri

Hem atmosferde hemde vakum altındaki dökümler hassas dökümde önemlidir. Birçok vakum dökümü hassas döküm olmasına rağmen titanyum döküm için vakum ark fırınlarında kullanılan grafit tozundan yapılmış kalıplar kullanılır. Birçok döküm yerçekimi etkisiyle dökülür. Şekil 2.14'de seramik kalıba döküm işlemi gösterilmektedir [11].



Şekil 2.14. Seramik kalıba eritme ve döküm (a) Erimiş metalin dökümü; (b) Seramik kalıbın kırılması ; (c) İmal edilen döküm parça [17].

Hassas dökümde alüminyum, magnezyum, bakır, altın, gümüş, platin alaşımları çeliğin her türlü, küresel grafitli dökme demir, birçok kobalt alaşımı ve reaktif element içermeyen nikel tabanlı alaşımlar, atmosfer şartlarında döküm yaparken kullanılabilirler. Çinko alaşımları, gri döküm ve dövülebilir demir ekonomik sebeplerden kaynaklı genellikle dökülmezler.

Vakum dökümü daha temiz bir döküm ve çoğu kez daha iyi özellikler sağlar. Bazen bu nedenle bazı atmosfer şartlarında eritilmiş malzemenin, vakum altında döküm yapılmasına neden olur. Bu dökümün esas amacı, dökümü atmosfer şartlarına yapılamayan γ' - fazında güçlendirilmiş nikel kökenli alaşımlar, bazı kobalt alaşımları, titanyum alaşımları ve refraktör metallerin dökülme işlemi ana kullanım alanıdır. Tek seferde bir parça imalatı için kullanılan fırınlar ve yarı sürekli kilitli fırınlar vakum dökümünde memnuniyet vericidir, fakat diğer modeller açık bir şekilde tercih edilendir.

Hassas dökümün ana avantajı çok ince cidarların dökülebilmesidir. Bu sonuçlar sıcak bir kalıbın kullanılmasıyla elde edilir, fakat özel vakum döküm, basınçlı döküm, santrifüj döküm ve zıt ağırlıklı döküm (counter – gravity Casting) metotlarıyla çok daha fazlalaştırılmıştır [11].

Vakum yardımıyla dökümde, kalıp açık bir çemberin içine yerleştirilir, sonra bir plaka ve conta yardımıyla kapatılır. Sadece yolluğun ucu açıkta bırakılır. Bir kısım vakum, çemberin ve kalıbın etrafından içeriden çekilir. Metal açık olan kalıbın

ağızından içeriye dökülürken, vakum kalıp duvarının gözenekli yapısından havayı dışarıya tahliye eder ve erimiş metalin üzerindeki basınç farklığı ince kısımlardaki narin boşlukların doldurulmasına yardım eder.

Ters dönebilen fırınlar aynı amaçla basınçlaştırılmışlardır. Sıcak kalıp erimiş metalin gireceği boşluk fırının ağızına gelecek şekilde, tepesi kapatılmıştır ve fırın hızlı bir şekilde basınçlı hava veya inert gazla basınçlandırılırken, erimiş metali kalıbın içine dökmek için ters çevrilir.

Santrifüj dökümde, metali ileri itip doldurmayı kolaylaştırmak için, dönen kalıplarla oluşturulmuş merkezkaç kuvvetler kullanılır. Bu işlem, ark başlı vakum fırınlarında, erime noktalarının hemen üzerindeki sıcaklıkta titanyum alaşımlar boşaltılarak yapılmaktadır. Santrifüj dökümlerde genellikle iyi doldurma işleminin yapıldığından emin olunması gerekmektedir. Dişçiler ve mücevherciler dökümün ince yerlerinin doldurulmasında ve iyi detaylar elde etmek için santrifüj döküm kullanır. Hassas dökümde santrifüj döküm uygulanmasının ana sebebini bu üç uygulama temsil etmesidir.

Aynı zamanda zıt ağırlıklı dökümde ince bölgelerin doldurulmasında çok iyi bir metottur ve hassas döküm kalıplarının kullanımında, sınırlaması yoktur.

2.10. Bitirme İşlemleri

Bitirme işlemlerinin hassas dökümün üretim maliyetlerine etkiyen önemli bir oranı (%40 - %50 arasında) vardır. Her parça için gerçeğe en yakın standart bir şekil sağlanır ve bu sayede önemli bir kar elde edilir. Çoğu kez parçaların çapak ve çukur gibi hataların erkenden tespit edilip ve giderilmesi, bitirme işlemi için boşa geçecek zamanın önlenerek maliyet etkenlerinin azalmasına sebep olsa bile bunun anlamı ekstra araştırma operasyonudur. Aynı operasyonları uygulamak için alternatif metotlar mevcut olabilir ama en etkili olan seçilmelidir. Operasyonlar için asıl, sıralamanın yerine getirilmesi önemlidir. Kalıbın bazı özellikleri alaşımın çeşidinin tanımlanması için gereklidir ve parçaların salkımın içinden çıkarılmasından önce tamamlanmış olmalıdır [11].

2.10.1. Seramik Kalıbın Kırılıp Çıkarılması

Bazı seramik kabuk malzemeleri soğuma sırasında soyulmaktadır, fakat iyi bir oranı genellikle dökümün üzerinde kalmakta ve elle ya da titreşimli bir pnomatik çekiç yardımıyla üzerine vurulup kırılmaktadır. Şekil 2.15'te seramik kalıbın kırıldıktan sonraki hali görülmektedir. Kırılgan alaşımlar dökümünden sonra özel dikkat gerektirir. Bazen birinci kaplama katmanının bir kısmı döküm yüzeyine yapışık kalmakta olup, aynı zamanda şişen kabuk malzemeleri cep şeklindeki kısımlarda ya da parçaların arasında da kalabilir. Bu kısımlar, genellikle bilye kullanılan kumlama işlemiyle parça üzerinden ayrılır. Kumlama işleminde, salkımlar bir askıya asılırlar veya kumlayıcının tablasına yerleştirilir. Eğer mumun içine çekirdek oluşturmak için yerleştirilen parçalar varsa erimiş kostik içinde çıkartılabilir. Yüksek basınçlı su jeti yardımıyla kesme (69 mPA veya 10 ksi) mekanik kırma işlemi yerine kullanılabilir.



Şekil 2.15. Seramik kabukların kırılması [7]

2.10.2. Kesip Ayırma İşlemleri

Alüminyum, magnezyum ve bazı bakır alaşımlar bant testere ile kesilebilirler. Diğer bakır alaşımları, çelik, küresel grafitli dökme demirler ve süper alaşımlar kesme taşlarıyla yaklaşık 3500 dev/dk. kesilir. Kesme taşının ulaşamadığı yerleri kesmek için oksijenle kesme işlemi ara sıra kullanılmaktadır. Bazı kırılgan alaşımlar eğer düzgün çentikleri varsa çekiçe hafiften dokunarak çıkartılabilir. Aynı zamanda

kesme kalıpları da standart salkımlardaki parçaların çıkartılması için kullanılabilir. Bu işlemi takip eden diğer işlemler, yolluk köklerinin temizlenmesi yüzenden taşan malzemelerin temizlenmesi ve keçeler ya da zımpara gibi yumuşak malzemeler kullanarak temizleme işlemidir. Aynı zamanda diğer bitirme işlemleri için ucuna ufak taşların bağlı olduğu küçük el taşları kullanılır.

2.10.3. Çekirdek Yapıların Çıkarılması

Yolluk girişlerinin sınırlarının olduğu yerlerde, çekirdek yapılar aşındırıcılar ya da su jeti yardımıyla çıkarılır. Eğer aşındırıcılar veya su jeti kullanılamıyorsa, çekirdek yapılar çözülerek çıkartılır. Bu, 480°C ile 540°C arasında açık bir kabın içinde %20 ya da %30 u sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit olan kaynayan bir çözelti içeren, erimiş kostik banyosunda (sodyum hidroksit) ya da aynı çözeltiyle yüksek basınçlı otoklavda yapılabilir. İçerisinde platinyum ve birçok kobalt alaşımları olan inert alaşımlarla birlikte hidroflorik asitte kullanılabilir.

2.10.4. Isıl İşlem

Atmosfer ortamındaki ve vakum ortamındaki ısı işlemler ihtiyaç olan özellikleri karşılamak geniş bir şekilde uygulanır. Paslanmaz çeliklerin vakum altındaki ısı işlemleri (havanın yerine), çok fazla temizlik gerektireceğinden, temiz ve parlak herhangi bir yüzey elde edilmek istendiği bazı zamanlarda uygulanır. Tavlanmadan önce, tek kristalli döküm, sonradan yeniden kristalleşme oluşmaması için çok dikkatli bir şekilde taşınmalıdır. Düşürülmemeli, birbirlerine çarpmalarına izin verilmemeli ve kumlama işlemleri için tavlanıncaya kadar bu işleme tabii olmalıdır [11].

2.10.5. Aşındırıcılarla Temizlik

Aşındırıcıların çarptırılmasıyla yapılan temizlik, aynı zamanda ısı işlemin ya da çekirdek yapı parçaları sonucu oluşan, ölçüsel hataların kaldırılması için kullanılır. Bu işlem için pnömatik ve santrifüj çarptırma makinelerinin ikisinde kullanılır. Metalik aşındırıcılar (çelik, demir girit veya saçma) ve kimyasal

aşındırıcılar (silika kumu, alüminyum oksit, garnet ve storelit) genellikle uygulamaya bağlı olarak kullanılır.

Sert ve açısız şekilli tanecik yapısına sahip alümina, elle yapılan kumlama işleminde, özellikle maliyet etkenine sahip olan, hızlı bir yüzey temizleme aracıdır. Alümina çarptırması ile yapılan temizleme işlemi yolluk girişleri ve yüzey kusurlarına maruz kalan yerlerde çok etkilidir. Böylece bitirme ve inceleme işlemleri kolaylaşmaktadır. Bu özelliğine rağmen oldukça pahalıdır ve bu nedenle yerine daha az maliyetli olan garnet, storelit, veya silika kumu sıklıkla kullanılır.

Diğer bir çeşit aşındırıcı bitirme işlemi, aşındırıcıların yoğun bir şekilde kullanıldığı uygulamadır. Bu uygulamada dökümler, kimyasal bitirme bileşikler ile koni, üçgen ve yıldız gibi özel geometrik şekle sahip olan aşındırıcıların yardımıyla, vibrasyonlu bilyeli karıştırıcı, malzemeleri alt üst olacak şekilde çeviren karıştırıcı veya santifuj makineleriyle ince bitirme ve çapak alma işlemi tabi tutulurlar.

2.10.6. Çeşitli Operasyonlar

Döküm malzemelerin yorulma, yumuşaklık ve diğer özelliklerin geliştirilmesi ve sahip oldukları özelliklerin kaybolmasını engellemek amacıyla, gözenekli yapılarını yok ederek, dökümlerin sıkılaştırılması sağlamak için isostatik sıcak presleme işleminin önemi, artmaktadır. Bu işlemin en önemli uygulaması titanyumdur. Çelik, süper alaşımlar ve alüminyum uygulamaları daha seçicidir ama yine de çok önemlidir [11].

Talaşlı işleme, hassas dökümle elde edilmiş parçalara sıklıkla uygulanır olmasına rağmen talaş kaldırma miktarı azaltılabilir. Talaş kaldırma işlemi gerektirmeyen birçok uygulamalar vardır. Talaş kaldırma işlemleri, genellikle imal edilecek parçaların belirlenmiş bölgelerinde, dökümle ulaşılan ölçülerden daha hassas ölçüler gerektiren yerlerde ya da talaşlı imal edilmesi, dökümle imal edilmesinden daha az maliyete sahip olan detayların işlenmesinde kullanılır. Kaynak işlemi, tamir ya da öncelikli olarak büyük ve yapısal dökümlerin birbirine birleştirilmesinde kullanılır. Ölçüsel doğrulukları geliştirmek için kullanılan diğer

metotlar ise broşh ve damgalamanın yanı sıra taşlamadır. Düzeltme ve doğrultma operasyonları gerektiğinde manuel ya da hidrolik presle uygun fixtureler kullanarak uygulanır. Doğrultma işlemini kolaylaştırmak için dökümler ısıtılabilir.

Hassas dökümlere aynı zamanda kimyasal bitirme işlemleri de uygulanır. Çeşitli diğer bitirme işlemleri, tortuları kaldırmak için asitle temizleme, paslanmaz çelikler için pasifize edilmiş temizlik, titanyumdaki α fazının kaldırılması için kimyasal frezelemeyle, alüminyum ya da parlatılmış paslanmaz çeliklerde göz alıcı saten yüzey elde etmek için yapılan kimyasal temizlemeyi kapsamaktadır.

2.11. Hata Tespiti ve Test Etme

Hata tespiti ve test için uygulanan işlemler aşağıdadır.

- Alaşım çeşitlerine göre test
- Gözle inceleme
- Likit floresanla penetre inceleme
- Manyetik parçalarla inceleme
- X-ray radyografi
- Çeşitli inceleme metotları

2.12. Hassas Dökümün Dizayn Avantajları

Hem tamamen fonksiyonel ve düşük maliyetli parçalar üretmek, hemde hassas döküm prosesinin yüksek kapasitesini ve esnek yapısının tamamını kullanabilmek için hassas dökümde muazzam tasarımlar yapılmaktadır. Çoğu kez bu çeşit parçalar çok estetik olmaktadır [11].

2.12.1. Zorluklar

Hemen hemen her derecedeki dış etkiler, aynı şekilde geniş orandaki iç etkiler, teknoloji harikası olan seramik çekirdek üretiminin tek sınırlamasıdır ve belirgin durumlarda meydana gelebilir. Sonuçta, daha önce birçok birbirinden ayrı parçaların

birleştirilmesiyle üretilen parçalar, tek parça halinde, daha düşük maliyette ve geliştirilmiş fonksiyonellikli bir şekilde günümüzde imal edilebilmektedir. Karmaşık parçaların kolayca üretilmesini sağlayan bu özellik küçük parçalar için bile faydalıdır. Öyle ki; bu küçük parçalar I veya H kesitli yâda kirişli ince duvarlarda, mukavemet kaybı olmadan ağırlığı hafifletilecek şekilde yeniden dizayn edilebilir. Böylece benzer proseslerle üretilen birçok parça, hassas döküme çevrilebilir.

2.12.2. Alaşım Seçimindeki Özgürlük

Hassas dökümde, biçim vermesi ya da konvansiyonel makinelerde işlenmesi çok zor olanlarda dahil olmak üzere, herhangi dökülebilir alaşım kullanılabilir. Çok daha fazlası alaşım maliyetleri, hassas dökümün son maliyetlerinin oluşmasında, diğer birçok metal şekil verme prosesine göre, daha az önemsizdir. Buna rağmen, özellikleri geliştirilmiş bir alaşım çoğu kez, biraz ya da hiç fiyat artışı olmayacak şekilde spesifikleştirilebilir.

2.12.3. Yaklaşık Ölçüsel Toleranslar

Ayırma çizgilerinin bulunmaması ve üretilen parçaların son şekline yakınlaştırılarak talaşlı şekil verilme miktarının azaltılması, hassas döküme konvansiyonel dövme işlemi ve kum döküme göre çok daha fazla avantaj sağlamaktadır [11].

Hassas Dökümde tolerans, kalıp yapım aşamasından başlayarak kullanılan mum, seramik malzemesi ve döküm alaşımına bağlı olarak ölçüsel sapmaların toplamıdır. Ölçülerin tekrarlanabilirliği, ayrıca parça formuna, kütlesine ve boyutlarına bağlıdır. Hassas döküm metoduyla elde edilen parçalarda, genel kural olarak anma ölçüsü 15 mm'ye kadar olan ölçülere ± 0.1 mm, 15 mm üstü ölçülerde ± 0.7 gibi bir hassasiyetle yaklaşılmaktadır. Ancak tolerans aralığını tek yönde de belirlemek mümkündür. Çok yüksek hassasiyetler ise, parçanın bir düzleminde ve birbirine referans belirlenmeyen ölçüler için, imalat sırasında kullanılan özel aparatlar, kalite kontrol mekanizması, fire yüzdesindeki artış gibi ilave maliyetlerle elde edilebilir.

Parça kullanımı açısından tolerans tablo değerleri yeterli olmayan ölçülere işleme payı vermek gerekmektedir. Boyutlarına bağlı olarak genelde 0.3 mm ile 1.5 mm arasında işleme payı verilmektedir. Ancak işleme yapını belirlerken tolerans değerlerini hesaba katmak gerekir [17].

2.12.4. Prototip ve Geçici Takımlama Özelliği

Prototip ve geçici takılmama özelliği parçaların gelişiminde ve tasarımlarda ana avantajdır. Mum model parçalarının direk olarak talaşlı veya herhangi bir takımlama metoduyla işlenmesi gibi pahalı olmayan metotlar, dökümhaneyle tasarımcılar arasındaki işbirliği sayesinde, fonksiyonel ve üretilebilir parçaların imalatı için bazı kolaylıklar sağlayabilir. Bu takımların yetenekleri pres dökümle, toz metalürji ya da dövme ile baş edebilecek bir prosesi sağlamayabilir. Fakat, tasarım aşamasında kullanılan geçici takımlar çoğu kez, mamul pazarı test edilirken ya da kalıcı takım üretilirken ki üretimler için kullanılabilir.

2.12.5. Güvenilirlik

Uçak motorlarındaki gibi çok fazla beklentilerin olduğu uygulamalar için hassas dökümün kullanım ömrü, tamamen yüksek standartlardaki üretilebilirlik yetenekleriyle kanıtlamıştır.

2.12.6. Geniş Uygulama Alanı

Karmaşık parçalar ve çok fazla gereksinim karşılanmasını içeren parçalara ek olarak, hassas dökümle birçok basit parçalar, diğer üretim teknikleriyle rekabet edecek şekilde rahatlıkla üretilebilir. Bu yetenek, hassas dökümün takım maliyetlerinin çoğu kez düşük olmasından ötürü mümkün kılınır. Hassas dökümler üst limitleri artmakla birlikte, birkaç gramdan 300 kg a kadar olan büyüklük oranında üretimleri yapılır [11].

2.13. Tasarım Gereksinimleri

Hassas dökümlerin tasarımlarında aşağıdaki maddelerin yol gösterici özelliği bulunmaktadır.

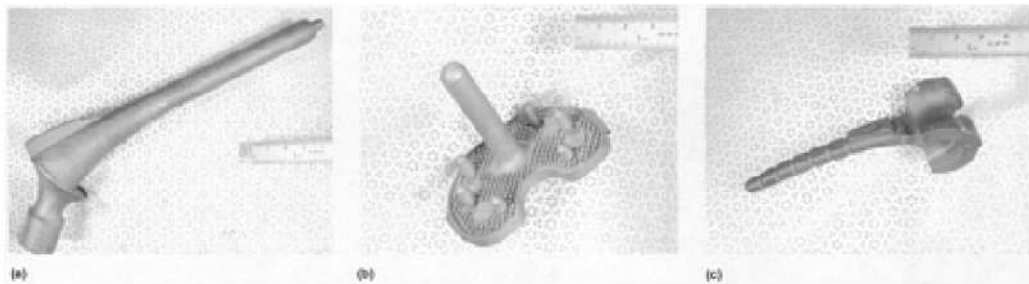
- Aşağıda bahsedilen avantajları yerine getirmek için yollara bakmak.
- Döküm maliyetinden çok, son parça maliyetinin üzerine odaklanmak
- Parçaları, değişimlerin yaşandığı önemli bölgelerde, üniform kısımların kullanımı, kesişim yerleri, uygun kenar yuvarlatmalar ve destek parçalarının elimine ederek tasarlamak
- Fonksiyonelliğin üretilebilmeye karşı oluşturduğu sorunların çözülebilmesi için dökümhane ve müşteri arasındaki iletişimi organize etmek
- Fonksiyonellik, üretilebilirlik ve maliyet arasındaki sorunların çözülebilmesi için prototip döküm yapmak
- Beklentilerin üzerinde bir şey yapma. Mümkün yerlerde olsa bile izin verilen toleranslardan daha hassas toleranslar kullanmak
- Referans düzlemi işleme noktalarını, resim üzerinde göstermek

2.14. Uygulamalar

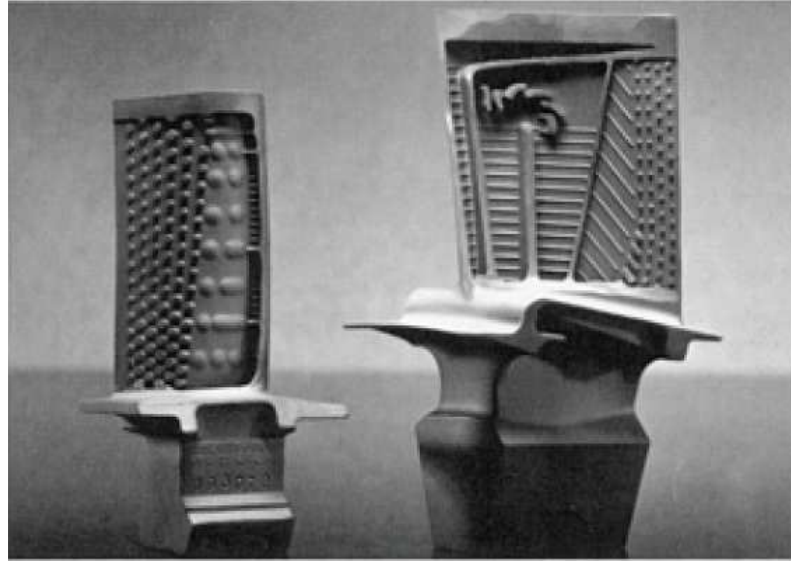
Birçok endüstride hassas döküm uygulamaları mevcuttur. En geniş uygulama alanları uçak ve uzak sanayi endüstrileridir. Özellikle türbin kanatlarında, kobalt ve nikel tabanlı süper alaşımların yanı sıra süper alaşım, titanyum ve 17-4-PH paslanmaz çelik süper alaşımı gibi döküm yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.16’da hassas döküm için biyomedikal uygulama örnekleri, Şekil 2.17’de kompleks seramik kalıp kullanılarak elde edilmiş uygulama örnekleri, Şekil 2.18’de Bazı uçak ve uzay uygulamaları ve Şekil 2.19’da hassas döküm için çeşitli uygulamalar gösterilmiştir. Hassas dökümün bazı uygulama alanları aşağıda bulunmaktadır.

- Uçak motorları, iskelet yapı, yakıt sistemleri
- Uzay sanayinde, füzelerde, yer destek sistemlerinde
- Tarımsal ekipmanlarda
- Otomotivde
- Balyalama ve bağlantı ekipmanlarında
- Bisiklet ve motorsikletlerde

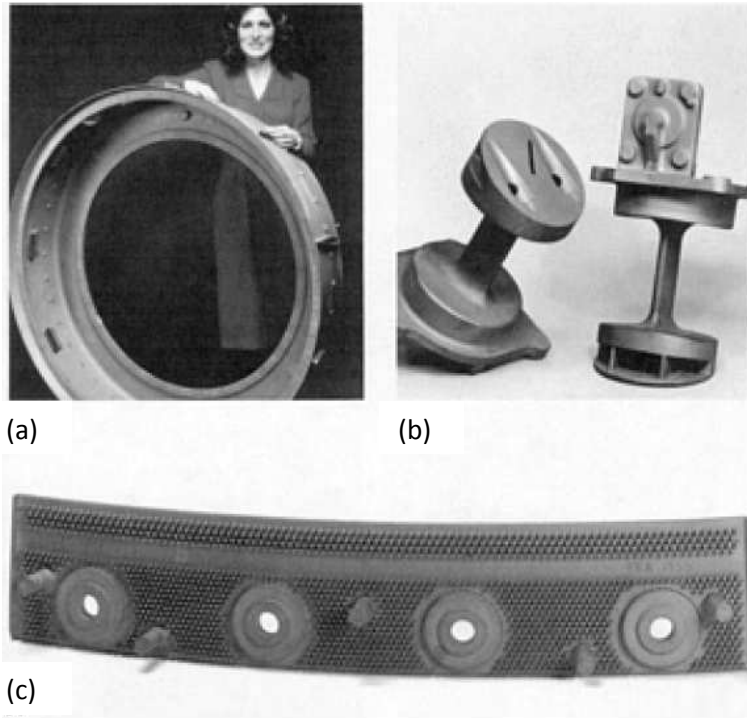
- Kameralarda
- Bilgisayar ve bilgi işlemcilerde
- İletişimde
- Konstrüksiyon elemanlarında
- Dişçilik ve dişçi araçlarında
- Elektriksel ekipmanlarda
- Elektronikte, radarlarda
- Silahlar ve küçük teçhizatlarda
- El aletlerinde
- Mücevhercilikte
- Makine takımlarında
- Malzeme taşıma ekipmanlarında
- Metal işleme ekipmanlarında
- Petrol kuyusu sondajında ve yedek parçalarında
- Pnömatik ve hidrolik sistemlerde
- Protez uygulamalarında
- Pompalarda
- Sabit türbinlerde
- Tekstil ekipmanlarında
- Ulaşımda ve dizel motorlarda
- Valflerde



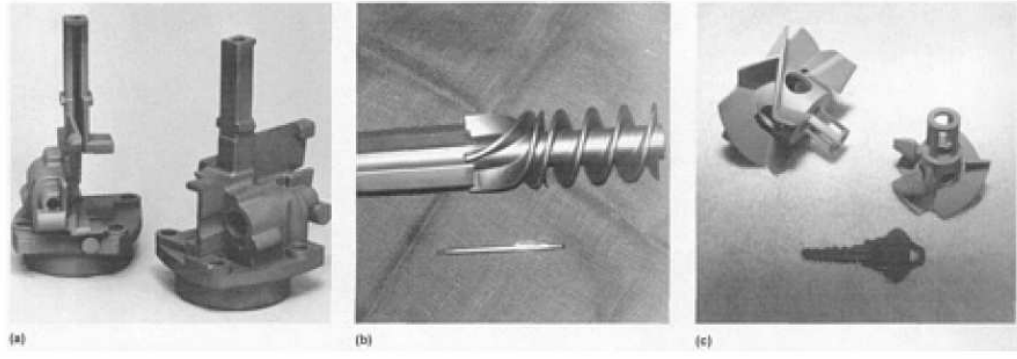
Şekil 2.16. Hassas döküm için biyomedikal uygulamalar [11]



Şekil 2.17. Kompleks seramik çekirdek kullanılarak oluşturulmuş tek kristalli türbin kanadı [11]



Şekil 2.18. Bazı uçak ve uzay uygulamalarında kullanılan hassas döküm parça örnekleri (a) Fan çıkış parçası (96 kg), 17 - 4PH paslanmaz çelik; (b) Uçak yakıt sensörü, 17 - 4PH paslanmaz çelik. İç kısımlardaki aralıkların imalatı esnasında seramik ve çözülebilir çekirdekler kullanılmıştır; (c) Uçak motoru yakma çemberi. Küçük çıkıntılar için yüksek oranda kalıplanabilirlik ve dökülebilirlik gerekir [11].



Şekil 2.19. Hassas döküm için çeşitli uygulamalar [11]

3. SERAMİK KABUK KALIPLARIN İMALATI İÇİN ENDÜSTRİDE KULLANILAN MAKİNE VE YÖNTEMLER

3.1. Seramik Çamur Tankları

Emniyet, güvenilirlik ve elverişlilik, seramik çamur mikserini dökümhaneler için önemli hale getiren üç şeydir. Fıçı şeklindeki bu tip karıştırıcıların içinde, mum modelin seramik çamur kaplanması sağlanır. Bu mikserler herhangi bir ebatta yapılabilir ve otomatik sistemlerle çalıştırılabilir. Şekil 3.1’de sabit destekli tip seramik çamur karıştırma tankı gösterilmektedir.

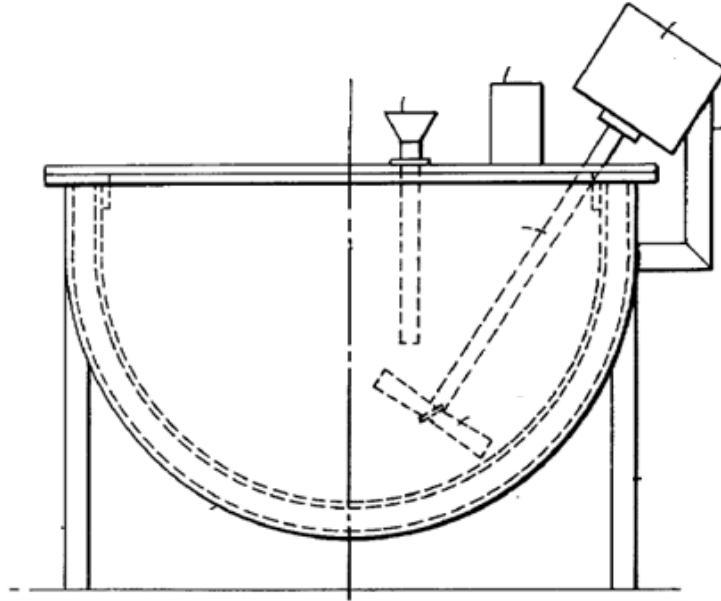


Şekil 3.1. Sabit destekli tip seramik çamur karıştırma tankı [18]

Tek seramik tankı kullanılan yerlerde, birincil katman için gerekli olan seramik çamurla, bütün mum modeller kapladıktan sonra, gerekli olan toz katmanını oluşturulup kurutulur. Daha sonra, kazan içindeki seramik çamur değiştirilerek destek katmanını oluşturan seramik çamur konur ve modellerin üzeri ikincil seramik

çamurla kaplanıp, kalın refrakter malzemeden oluşan seramik tozuyla kaplama işlemine devam edilir.

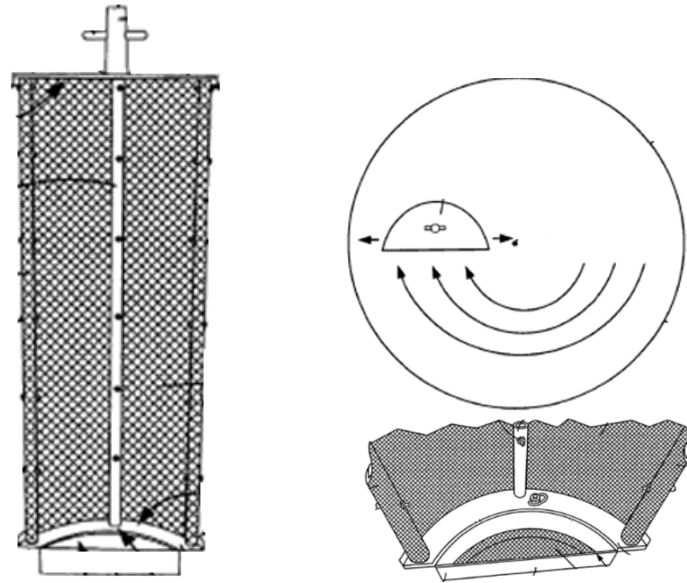
İki tane seramik çamur tankı kullanılmasında birincil katman için birini, diğer katman içinde ikinci kazanı kullanarak daha etkili bir şekilde kontrol edilen seramik çamurlarla mum modellerin kaplanması sağlanabilir [18].



Şekil 3.2. Pervaneli tip seramik çamur karıştırma tankı [19]

Hassas dökümde seramik kabuk yapımında, özellikle birçok katmandan oluşan kabuğu oluşturmak için, mum model seramik çamura daldırılıp çıkarıldıktan sonra granül karışımıyla kumlanırken, seramik çamurun birçok karakteristik özelliği ve içinde bulunduğu şartların, kabuğun kalitesini etkilemesini gözleyebilmek için sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Örneğin seramik çamur sürekli olarak içindeki ağır elementlerin çökmemesi için karıştırılması gerekmektedir. Tipik bir daldırma tankına dikey mili olan bir karıştırıcı monte edilerek bu karıştırma işlemi sağlanabilir. Şekil 3.2’de dikey milli karıştırma kazanı bulunmaktadır. Diğer bir yöntem ise daldırma kazanı dönerken, kazanın duvarına paralel ve dibine kadar uzanabilen raspa işlemi gören kazıyıcı kanat yardımıyla karıştırılma işleminin yapılmasıdır. Şekil 3.1’de gösterilen sabit destekli tip seramik çamur karıştırma tankı bu tip bir karıştırma kazanıdır. Kazan dönerken, kazıyıcı kanat sürekli bir karıştırma

işlemi sağlar ve kazanın iç yüzeyini de kazıyarak hem kazan duvarının hem de tabanının kalın bir tabaka ile kaplanmasını engeller. Pratik sebeplerden kaynaklı, kazanın bakımı her zaman uygun şekilde yapılmayabilir. Seramik kalıbın kalitesinin oluşturulmasındaki bir diğer etken ise kazanın iç yüzeyleridir. Seramik çamur malzemeleri kazanın içine yapışarak ve kazanın formunu alarak, kazıyıcı kanatla kazan duvarı arasında üniform bir katman oluşturur. Seramik çamurun karıştırılması esnasındaki herhangi bir anda bu katman kalkıp kazınarak seramik çamurun içine katı haldeki katman parçacıkları karışabilir ve bu parçacıklar seramik kalıbın yüzeyine yapışarak kalıbın zayıflamasına sebep olabilir. Şekil 3.3’de bu gibi bir durumda seramik çamur tankını temizleyecek aparat tasarımı gösterilmektedir. Bu aparat süzgeç şeklindedir ve şekilde görüldüğü gibi karıştırıcı tankın içine konularak oluşmuş katı sert parçacıkları süzmek için kullanılır. Ebatları tankın ebatlarına uygun olacak şekilde ayarlanmalıdır [19].

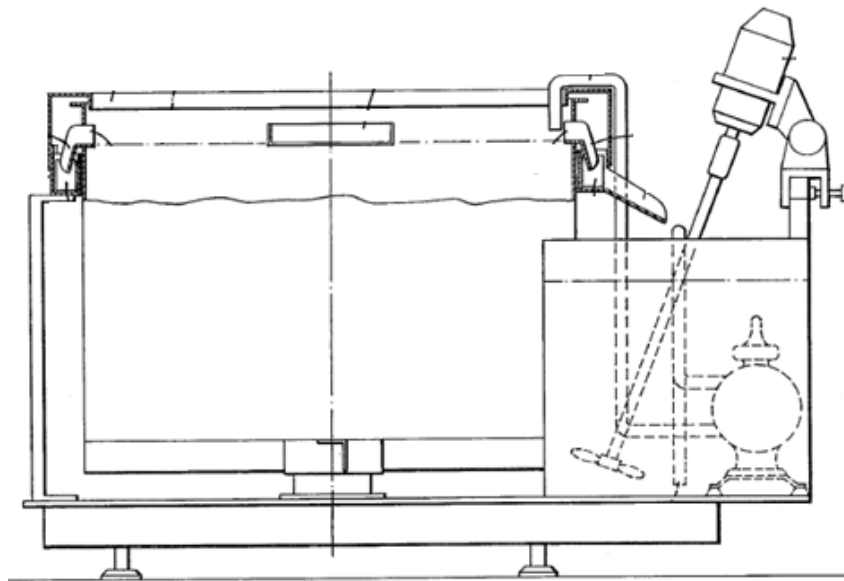


Şekil 3.3. Seramik çamurunda oluşan katı parçacıkları almak için kullanılan aparat tasarımı [20]

Seramik kalıbın kalitesin kontrolünün üzerinde düşünülmesi için gereken diğer bir yöntem ise seramik çamurun viskozitesidir. Eğer ki, viskozite belirlenen değerlerden saparsa, seramik kabuğu oluşturulması esnasındaki katmanlar, çok ince veya çok kalın olabilir. Viskozite Zahn cup yardımıyla elle ölçülebilmektedir. Bu ölçümler insanlar tarafından yapıldığından bazen doğru olmayabilir.

Seramik çamurun, daldırma işlemi sırasında sıcaklığının kontrolü aynı zamanda çok önemlidir. Keramik çamurun sıcaklığı genel anlamda önemsiz olmasına rağmen mum modelin sıcaklığına etkisi önemlidir. Eğer ki sıcaklık değeri mum modelin üzerinde herhangi bir genleşmeye sebep olursa, dökülecek malzemenin üzerindeki ölçüsel değerler riske girmektedir. Sıcaklığın kontrol edilmesi sayesinde, buradan meydana gelecek ölçüsel hataların kaynaklarından biri giderilmiş olur.

Seramik çamurun diğer bir önemli değeri yoğunluktur. Mum modeli seramik çamura daldırma operasyonunda, seramik çamurun yoğunluğu daha öncede bahsedildiği gibi Zahn kap ile ölçülmektedir. Viskozite ve yoğunluk aynı anda ölçülebilmektedir. Bu prensibin tek eksikliği bir operatör tarafından gözlemleniyor olmasıdır. Önemli bazı hassas döküm uygulamalarındaki seramik kabuk oluşumlarında Zahn kap'la yapılan yoğunluk ölçümleri yeterli doğrulukta olmamaktadır. Zahn kap'la manüel olarak yapılan yoğunluk kontrolü ölçümleri sırasındaki aralıklarda kötü kaliteli seramik kalıpların yapılması mümkündür. Örneğin seramik çamur içindeki küçük tanecikli partiküller, büyük tanecikli partiküllerden önce daha fazla tüketilme eğilimi göstermektedir. Çamurun yoğunluğu kullanımla birlikte artma eğilimindedir. Bu çeşit değişiklikler dökülen parçanın yüzey kalitesini etkilemektedir. Aynı zamanda çamurun içindeki parçacık aralığının ortalamasının artması oluşturulan kalıbın dayanımının azalmasına sebep olmaktadır [19].



Şekil 3.4. Harici tip karıştırırmalı seramik çamur karıştırma tankı [21]

Şekil 3.4’de karışımın dışarıda ayrı bir haznede karıştırılıp sonra bir boru yardımıyla kazana boşaltılan karıştırıcı bir sistem gözükmektedir.

3.2. Toz Kaplama Üniteleri

Hassas dökümde seramik çamuruna batırılmış model mekanize olarak iki şekilde toz kaplanmaktadır. Bunlar akışkan yataklı toz kaplama ve toz yağmurlama üniteleridir.

3.2.1 Akışkan Yataklı Kumlama Ünitesi

Akışkan yatak, belli boyutlardaki katı taneciklerin sıvı gibi davrandıkları duruma verilen isimdir. Bu durum, basınçlı bir gazın, ortamı oluşturan katı tanecikler arasından geçmesiyle oluşur. Bu durumda katı tanecikler sıvı karakteristiği göstermeye başlar. Ayrıca taneciklerin elemental yapısını değişmeden, yoğunlukları azalır. Bu olaya yataklama adı verilir. Akışkan yataklar kurutucu olarak, kirli suların temizlenmesinde de filtre olarak kullanılabilir. Bunun dışında, yataktaki taneciklerin kurutulmasında da kullanılır. Akışkan yataklarda kullanılan basınçlı gaz, ortama genelde bir dağıtıcı üzerinden verilir. Dağıtıcı üzerinde bulunan birçok açıklık, gazın ortama homojen olarak dağılmasını sağlar. Dağıtıcıdan çıkan gaz, yatak boyunca ilerleyerek, yerçekimine karısı taneciklere kuvvet uygular. Eğer tanecikler üzerindeki nem uzaklaştırılmak isteniyorsa, bu işlem belirli bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Yatağa verilen gazın hızı üretim durumuna göre ayarlanabilir. Gaz hızının artırılması sonucu, bir noktada, gazın taneciklere etki ettiği kuvvet ile yerçekimi kuvveti eşit hale gelir. Bu durumda tanecikler havada asılı kalırlar. Bazı durumlarda küçük tanecikler yatağın üst kısmından ilerleyerek ortamdan uzaklaşabilir. Bu durumda, filtrasyon ile kaçan tanecikler toplanabilir [22].

En yaygın olarak kullanılan akışkan yatak, altında gözenekli gaz dağıtıcısına sahip silindirik bir kazandır. Silindirik akışkan yatakları genellikle akışkanın tamamen kontrol altında tutabileceği dar bir aralıktaki küçük partiküllerle limitlendirilmiştir. Geniş katı parçacık karışımını yatağın tabanından uzak tutabilmek

için daha yüksek oranda hava akışı gerekmektedir, fakat bu olay küçük parçaların yataktan uzaklaştırılma miktarlarını arttırmaktadır [23].



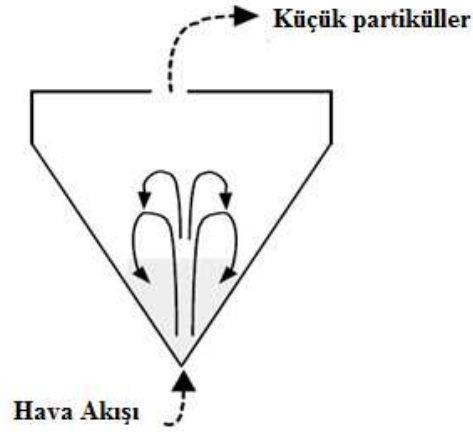
Şekil 3.5. Silindirik akışkan yataklı kazan [24]

Şekil 3.5’de gösterilen akışkan yataklı kazanların, yapıları oldukça basittir. Bu kazanların içinde ıslak seramik çamura, toz katmanı kaplanmaktadır. Hazne içine 3” genişliğindeki bir borudan 0,2 – 0,3 bar da hava üflenir. Hava eşit olarak dağıtılmak için tabandaki gözenekli yapıdan geçirilir ve tozu havalandırıp akışkan hale getirir. Bu sayede, kazanın içine daldırılmış modelin üzerine kolaylıkla toz kaplanır. Kazanın üst kısmında siklon oluşturacak şekilde bir hava kilidi vardır bu sayede dışarı kaçan toz taneleri yakalanarak sisteme dahil edilir [25].

Diğer bir tür akışkan kazanı ise gazın aktığı küçük orifislere ve püskürtme yatağına sahip konik bir kazandır. Şekil 3.6’da konik akışkan yatak gösterilmektedir. Bu çeşit akışkan sistemi silindirik yataktan çok daha geniş aralıktaki partiküllerin akışını sağlayacaktır, çünkü koninin üst tarafındaki geniş çapta havanın hızı azalırken, alt tarafında oluşan yüksek hız büyük partiküllerin akışını sağlar. Böylece, limitlendirilmiş partiküller haricindekiler koninin dışına taşarlar. Bu çeşit konik akışkan yataklardan biri Pachuca Tankıdır. Bu tankla çakıl gibi geniş ve yoğun katıların karıştırılıp akışkanlaştırılması sağlanır.

Sistem dizaynı yapılırken, minimum akışkanlık ve püskürme arasındaki ilişkiye dikkat edilmelidir. Sistemin çökme hızı, sistemin içinde muhafaza edilecek partikül büyüklüğüyle, dışarı atılacak partikül büyüklüğüne göre hesaplanır. Dizayn hesaplamalarında bazı varsayımlar yapılmak zorundadır. Bu varsayımların, tasarım

için düşünülen performansa ulaşmayı amaçlamasına gerek yoktur. Tasarımın asıl performansının bazı hassas parametrelere bağlı olduğunun farkında



Şekil 3.6. Konik akışkan yatak

olmak önemlidir. Ampirik testler sonucunda tasarımın istenilen sonuçları verdiği gözlenmesi yeterlidir [23].

3.2.2 Toz Yağmurlama Üniteleri

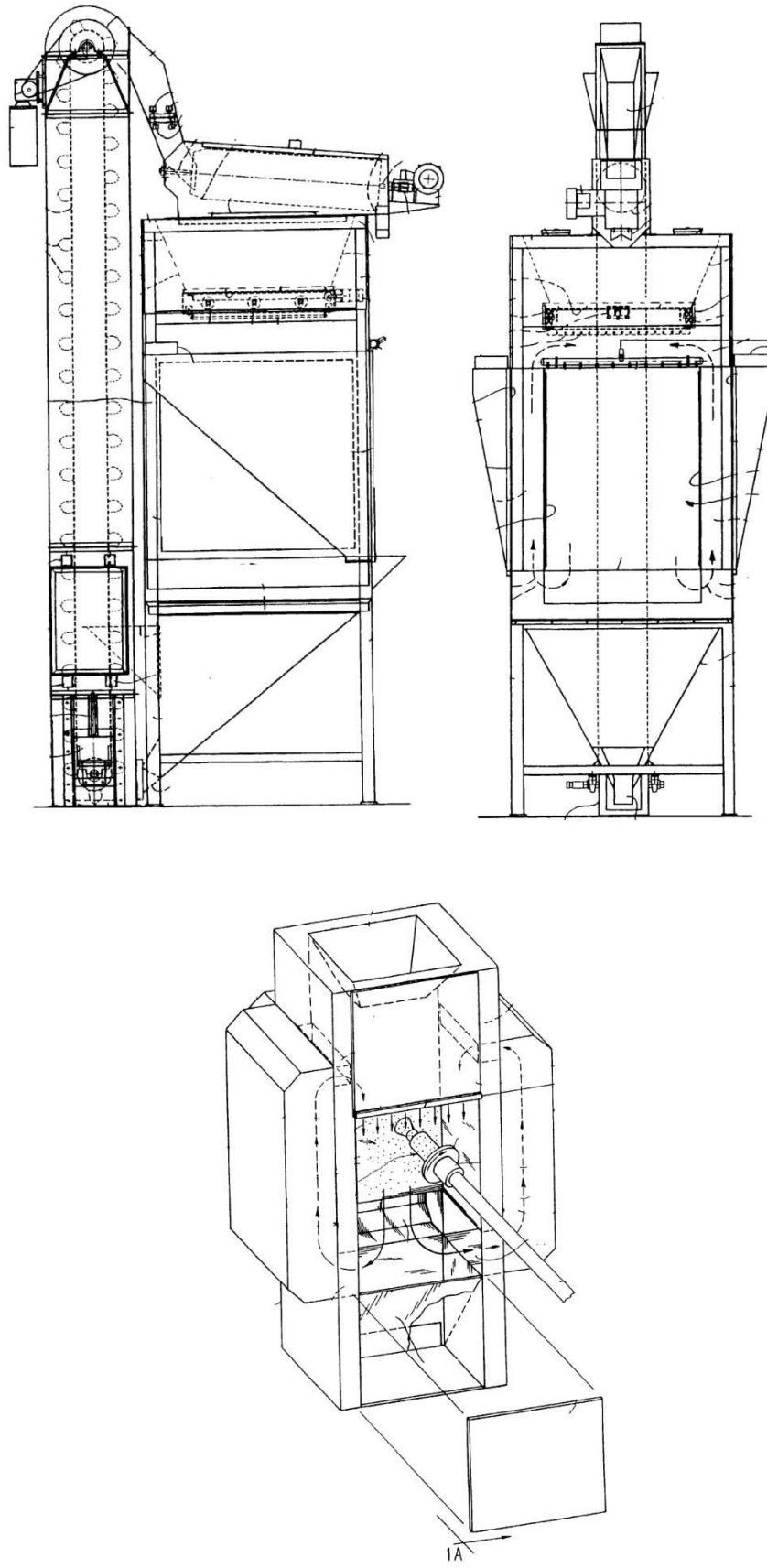
Toz yağmurlama ünitelerinde, homojen bir dağılım sağlamak ve katı partiküllerin ayrıştırılması için elekten geçirilen toz partikülleri, seramik çamurla kaplı modelin üzerine dökülerek, seramik kalıbı kaplama işlemi yapılır. Kumlama esnasında oluşan küçük toz partiküllerin toplanması için, toz toplama ünitesi makinenin arkasına monte edilmiştir ve toz açıklığının yarısına kadar uzanmaktadır. Rotary tip toz yağmurlama ünitelerinde ses ve titreşim serbestçe oluşmaktadır. Tambur şeklindeki yapısı döndüğü zaman alt haznede biriken kaplama tozunu alarak, aynı bir elavator gibi yukarı çıkarır ve homojen bir şekilde dağılım yapan eleğin üzerine bırakır. Serbestçe oluşan titreşim sayesinde elekten süzülen tozla modelin üzerine kaplama yapılır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de çeşitli rotary tip toz yağmurlama üniteleri gösterilmektedir. Kapalı bir sistem olmasından dolayı, akışkan yataklı sistemlere göre daha üstündür. Bu sayede tozun dışarı taşması engellenerek daha az malzeme kaybına sebep olur [24,25].



Şekil 3.7. Rotary tip toz yağmurlama ünitesi [24]



Şekil 3.8. Rotary tip toz yağmurlama ünitesi [25]



Şekil 3.9. Elevatör tip toz yağmurlama ünitesi [26]

Şekil 3.9’da gösterilen elevatör tip toz yağmurlama üniteleri, rotary tip toz yağmurlama ünitelerinin kapasitelerinin üzerindeki modellerin tozla kaplanmasını sağlarlar. Bu modelde kaplayıcı toz, makinenin aşağısındaki hazneden bir elevatör yardımıyla yukarı çıkarılarak toplayıcı bir kaba boşaltılır. Buradan rotary tipte olduğu gibi titreşimle toz partikülleri elenip süzülerek kaplama işlemi yapar.

3.3. Kurutma

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların giderilmesidir. Bununla birlikte kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemleri ile su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemlerini tanımlamaktadır. Kurutma mekanizması iki şekilde tanımlanmaktadır.

- Sıvının buharlaşması için ısıнын kurutulan maddeye transfer edilmesi işlemi
- İç sıvı ve buhar geçişi olarak gerçekleşen kütle transferi işlemi

Isı ve kütle transferi işlemlerinin her ikisinde kuruma hızının çözümlenmesinde etken kullanılan faktörlerdir. Kurutucularda tasarımda birincil hedef, kurutucuda gerekli ısıнын en verimli kullanılmasıdır. Kurutucularda gerçekleştirilen ısı transferi, kurutucu tipine göre değişmek üzere taşınım, iletim, ışıınım veya bunların kombinasyonları biçiminde olabilir. Genelde ısı katı maddenin dış yüzeyinden iç kısımlara doğru geçer. Yalnızca yüksek frekanslı elektrik akımlı kurutmada yüksek sıcaklık katı maddenin içinde oluşturulur ve ısı dış yüzeye doğru akar, bu esnada gerçekleşen kütle transferi ile de kurutma işlemi gerçekleşir.

Kurutma işlemleri uygulamalarında kurutma havasının sürekli dolaşımı ısı verimliliği artırmaktadır. Optimum dolaştırılan hava kesrinin çözümlenmesi için daha fazla dolaştırılan hava ile düşük ısı kaybı ve daha az dolaştırılan hava (taze hava çok) ile yüksek kuruma hızı arasında denge araştırılmalıdır.

Geri çevrim oranı kurutma havasının nemliliğini etkilemektedir. Kurutucu içinde havanın nemliliğinin fiziksel olarak kurutulacak üründen alınacak nemi uzaklaştırabilmesi gerekmektedir. Kullanılan kurutma havasının maksimum nem

alma kapasitesi havanın yaş termometre sıcaklığındaki doyma özgül nemi ile kurutma havası özgül nemi arasındaki fark kadardır, (kg nem/ kg kuru hava). Gerçek nem alma miktarı ısı ve kütle transferi hızları ile çözümlenmekte olup, her zaman maksimum ulaşılabilecek nem alma (kurutma) hızından daha az değerlerdedir.

Normal ve yüksek sıcaklıklar için hazırlanmış psikometrik diyagramlar kurutma işlemlerinin birçoğunun hesaplanması için yeterlidir. Kurutma işlemi tam olarak adyabatik soğuma hatları boyunca gerçekleşmeyecektir. Bunun nedeni bir kısım ısıнын malzemeye direkt ışıınım veya metal tepsi veya konveyörlerden iletimle geçmesidir [27].

3.3.1. Kurutma Zamanının Belirlenmesi

Kuruma zamanının belirlenmesinde kullanılabilecek üç yöntem aşağıda verilmiştir.

Davranış Testi: Bir laboratuarda, kurutucudaki koşulların sağlandığı durumlarda deneysel çalışmalar yaparak veya direkt olarak kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde verimlilik verilerinin elde edilmesi ile kuruma zamanının belirlenmesi.

Yapay Madde Testi: Eğer kurutulacak özel maddenin temini güçse, yukarıda belirtilen davranış testleri benzer özelliklerdeki yapay bir maddeye uygulanır.

Teorik Tahmin: Kuruma zamanı literatürde verilen uygun eşitliklerin kullanımı ile teorik olarak belirlenebilir.

Kurutucu bir cihaz tasarlandığında, laboratuvar kurutucusundaki davranış testi, kurutucudaki çalışma koşullarıyla benzeşir. Laboratuvar testlerinde kullanılan malzemelerin, ticari kurutucuda kurutulacak madde ile benzeşmesi (veya aynı malzeme olması) gerekir. Birçok denemedeki sonuçlar uygunluk için karşılaştırılır. Aksi durumda test sonuçları malzemenin kuruma karakteristiklerini hassas olarak yansıtmayabilir.

Laboratuar testleri pratik değilse, kuruma verileri cihaz imalatçısının (önemli bir veri kaynağı) deneyimlerine dayanmış olabilir.

Teorik eşitliklerden kurutma zamanının tahmin edilmesi yalnızca yaklaşım değerlerini verir. bu yöntemin kullanılmasında bu konuya dikkat edilmelidir.

3.3.2. Kurutma Sistemi Tipleri

3.3.2.1. Morötesi Radyasyon Kurutma

Morötesi kurutmada elektromagnetik radyasyon kullanılır. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddeler UV radyasyon etkisinde kurutularak işlenirler Morötesi kurutmanın uygulanmasında en büyük sorun yüksek yatırım maliyetidir.

3.3.2.2. İletimle Kurutma

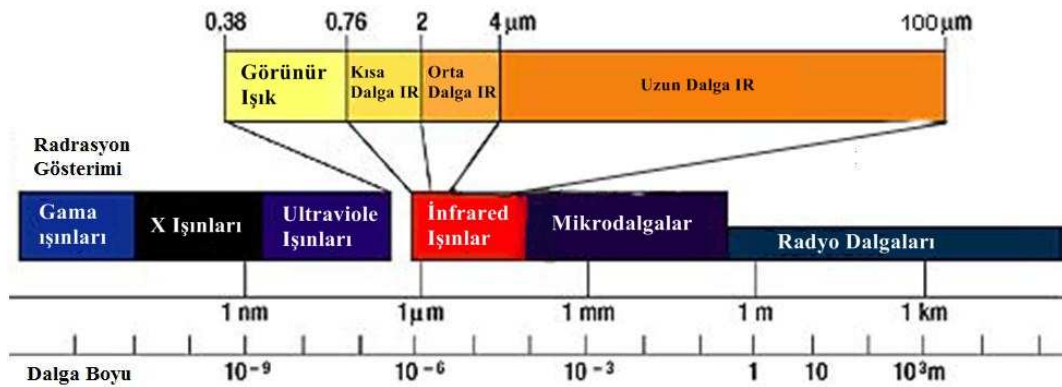
İletimle kurutmada, ısıtılan yüzey, malzeme ile temastadır ve malzemenin aşırı ısınmasını önlemek, ısıtmanın homojen olmasını sağlamak için gereken önlemler alınmalıdır. İletimle kurutma kağıt ürünlerinin kurutulması ve üretimin de yaygın olarak kullanılır. Ancak iletimle kurutmada yüksek kuruma hızlarına ulaşamama, üniform olmayan ısı ve küte transfer koşulları, kontrol problemleri, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri gibi sorunlarla karşılaşabilir. Tüm bu olumsuzluklara karşın iletimle kurutmanın diğer kurutma sistemlerine dönüştürülmesi ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetten nedeniyle tercih edilmemektedir.

3.3.2.3. İnfrared Radyant Kurutma

İnfrared (kızılötesi) ışınlar, güneş tarafından yayımlanarak dünyamıza ulaşan ışınların arasında da bulunmaktadır. Kırmızı ışıktan infrared'e geçiş Güneş'in doğuşu ve batışı esnasında gökyüzünün aldığı turuncu renkte gözlemlenebilir.

İnfrared ışınlar elektromanyetik spektrum'da görünür ışınlar ile mikrodalga ışınları arasında bulunurlar. Dalga boyu $0.760 \mu\text{m}$ ile $100 \mu\text{m}$ arasında değişiklik gösterebilir. Aynı zamanda infrared ışıma kendi içinde kısa dalga ($0.76 - 1.5 \mu\text{m}$), orta dalga ($1.5 - 5,6 \mu\text{m}$), ve uzun dalga ($5,6 - 100 \mu\text{m}$) olmak üzere üç kısma ayrılır. Şekil 3.10'da infrared ışınların dalga boyu ve çeşitli ışınların dalga boyları görülmektedir.

Belli sıcaklıktaki bir cisim titreşen atomlardan oluşur. Titreşimin seviyesi cismin sıcaklığını tespit eder. Cismi oluşturan atomlar birbirleriyle ve çevreleriyle etkileşim içindedirler. Atom, enerjiyi soğurarak onu titreşiminde bir artışa dönüştürebileceği gibi (ısınma), titreşiminde azalmaya yol açacak şekilde o enerjiyi bırakabilir (soğuma). Atomlar genellikle, enerjiyi diğer atomlar tarafından kolaylıkla alınabilecek şekilde (belli dalga boyunda) verirler. Isı transferi söz konusu olduğunda elektromanyetik spektrumdaki en verimli bölge infrared (kızıl ötesi) bölgesidir. Çizelge 3.1'de kızıl ötesi ışınların dalga boyları ve dalga boyundaki sıcaklık değerleri gösterilmektedir [27].



Şekil 3.10. İnfrared radyasyon ve elektromanyetik dalga boyları [28]

Çizelge 3.1. Dalga boyları ve sıcaklık değerleri [28]

	Dalga boyu (μm)	Sıcaklık	
Yakın kızılötesi	0.8 – 2	3623 – 1448 K	3350 – 1175 °C
Orta kızılötesi	2 – 4	1448 – 723 K	1175 – 450 °C
Uzak kızılötesi	4 – 100	723 – 28 K	450 – 245 °C

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur. Isı transferi termal radyasyon yayan malzemenin yapısı ve karakteristiği ile kurutulan maddenin özelliklerine bağlıdır ve ısı verim düşük olabilir. Radyant ısıtma kağıt, tekstil gibi üzerinde motif desen içeren ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Kurutulacak malzemenin yanabilir olması durumunda ürün ısı kaynağına yakın tutulmamalıdır. Şekil 3.11’de elektromanyetik dalga boyunda, suyun karakteristiği gösterilmektedir [29].

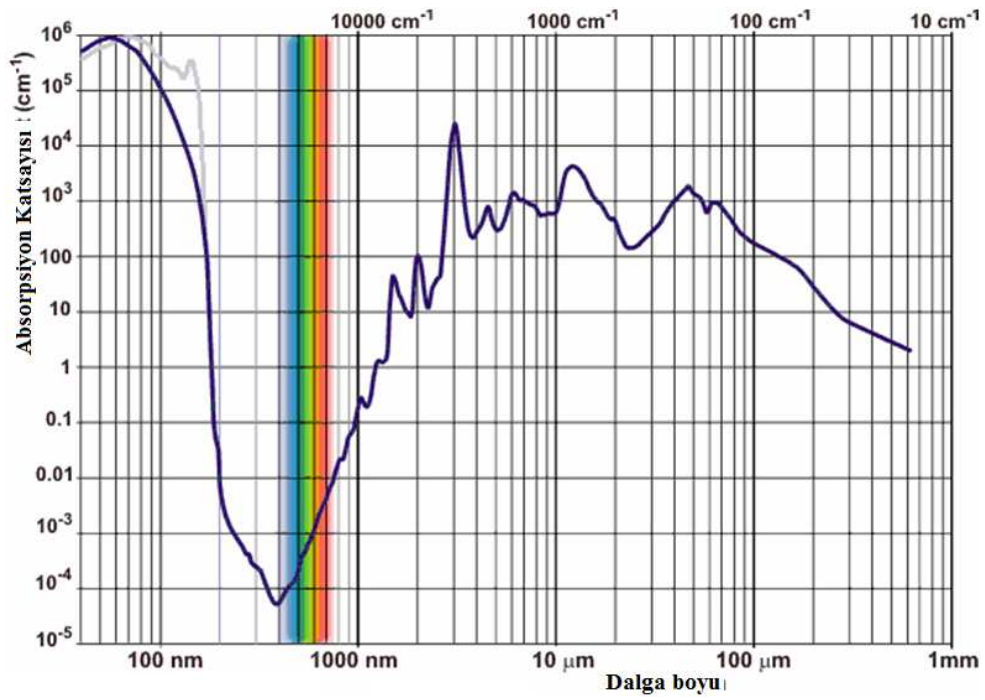
Kızılötesi ışınım etraflarındaki havayı ısıtmadan sadece ışık geçirmeyen cisimleri ısıttığından malzemeleri pişirme için kullanılabilir. Kızılötesi ısıtma sanayide boya kurutma, plastik üretimi, tavlama, plastik kaynaklama gibi alanlarda da popüler olmaya başlamıştır. Bu tip uygulamalarda kızılötesi ısıtma yavaş yavaş geleneksel fırın ve ısıtma elemanlarının yerini almaktadır. Malzemenin karakteristiğine uygun kızılötesi frekans seçimi enerji verimliliğini de arttırmaktadır [30].

Diğer endüstriyel amaçlar için ultraviyole lamba kullanımları yapıştırıcılar, reçineler ve pigmentli cilaların UV ile sertleştirilmesi avlularda, restoran ve kafe teraslarında, fabrikalarda, spor salonlarında, fuar salonlarında, is alanlarında, camilerde, büyük salonlarda, depolarda, depolama alanlarında, garajlarda, seralarda, açık hava uygulamalarında, stadyumlarda, kamp sitelerinde ve buz çözme işlemlerinde alan ısıtması için kullanılır. Parlama azaltımının gerekli olduğu boya kurutma gibi proses ısıtmalarında infrared ampulleri, ev ve kapalı alan ısıtmaları için tasarlanmıştır [31].

İnfrared kurutucuların avantajları;

- Elektrik enerjisini yüksek verimlikle ısı enerjisine dönüştürür.
- Isı transfer oranı yüksektir.
- Isı etrafı ısıtmadan sadece yüzeye etki eder.
- Üniform ısıtılan bölgeler oluşturmak kolaydır.

- Proses şartlarını değiştirmek kolay bir şekilde olmaktadır.
- Prosese hızlı bir şekilde başlanabilir ve durulabilir.
- Ürünler üzerinde dar ısı bölgeleri oluşturmak kolaydır.
- Kontrolü kolaylaştırır.
- Düşük yatırım maliyeti ve sermayeye ihtiyaç vardır.
- Konvansiyonel kutuculara adapte edilmesi kolaydır ve üretim hattını hızlandırır.
- İnfrared hava kurutucuları solvent bazlı kaplamalar için uygundur.



Şekil 3.11. Suyun spektrumu [28]

İnfrared kurutucuların limitleri ise;

- Alt katmanlarda hassas ısı dereceleriyle çalışmak zordur.
- Isıtıcının ısını arttırmak her zaman lineer bir şekilde olmayabilir.
- Çok kalın katman yüzeylerinin ısıtılması zordur
- Ürünler üzerinde mevcut üretim öncesi çalışma yapmak gerekir [32].

3.3.2.4. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırıcısı ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğunlaşır, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır. Dondurarak kurutma genellikle -10 °C ile -40 °C arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur.

3.3.2.5. Vakumda Kurutma

Vakumdan kurutma düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda (buharlaşması) kaynaması gibi avantaja sahiptir. Kağıt sanayinde kısmen uygulanmaktadır.

3.3.2.6. Karıştırmalı Yatakta Kurutma

Titreşimli raf veya konveyör kullanılarak malzemenin sürekli ve belli aralıklarla titreştirilmesi sonucu üniform bir kuruma elde edilir. Aynı sonuç delikli raf veya konveyör üzerindeki yatağın kısmi akışkanlaştırılması ile de elde edilir. Tahıl kurutulması için uygundur.

3.3.2.7. Akışkan Yatakta Kurutma

Akışkan yatakta tanecik yapısındaki maddeler arasından kurutma ortamı gaz akımı geçirilir. Gaz hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki kurutucular malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu

sistemin en önemli avantajı kurutma işlemi kısa sürede tamamlanmasıdır. Akışkan yatak kömür, kireçtaşı, şist, fosfat, plastik ilaç tabletleri kurutulması için uygundur [29].

3.3.2.8. Kızgın Buhar Atmosferinde Kurutma

Bir malzemenin kurutulmasında hava veya diğer gazlar kullanıldığında, uzaklaştırılan nem buharları kitlesel gaz akımına ulaşana dek durgun bir gaz filminde diffüzenir. Bu filmin kütle transferine direnci büyük olduğundan, kuruma hızı nem buharının diffüzyon hızına bağlı olur. Kurutma ortamı olarak nem buharı kullanılırsa buhar fazındaki kütle transfer direnci önlenir ve kurutma hızı sadece ısı transfer hızına bağlı olur. Nem buharındaki kuruma hızları, kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlara göre daha büyüktür.

Bu yöntemde verim daha yüksektir ve nemin geri kazanımı da kolaydır. Ayrıca kurutma ortamı olarak havanın kullanıldığı durumlarda görülen oksidasyon ve diğer tepkimeler söz konusu değildir. Ancak yüksek sıcaklık nedeniyle ısıya duyarlı malzemelere uygulanması sakıncalıdır. Ticari olarak örnekler tekstil ve kimya sanayilerinde görülmektedir.

3.3.2.9. Flaş Kurutma

Flaş kurutmada çok küçük yapıdaki malzeme sıcak gaz akımında dağıtılmıştır. Pigment, sentetik, reçine, gıda ürünleri, kağıt üretiminde uygulama örnekler vardır.

3.3.2.10. Tünel Kurutucu

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucu modifiye edilmiş kompartıman kurutucudur. Kurutma ortamı olarak kullanılan sıcak hava yanma gazları fan yardımıyla sistemde dolaştırılır. Malzeme raf veya bantlar üzerinde kurutulur. Hava akımı, malzeme ile paralel zıt akışlı veya her ikisinin birlikte uygulaması olarak sistemden geçirilir. Kurutucuda havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanım ile sistemden çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanabilir.

Tünel kurutucularda değişik hava hız ve yönü, sıcaklık, nem uygulamaları mümkündür. Giriş ve çıkışta sıcak hava kayıplarını önlemek için gereken önlemler alınmalıdır [29].

3.3.2.11. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılır. Kurutulan ürünler üniformdur ve kuruma süreleri (5 ile 15 saniye arasında) değişir. Bu sistemlerde sıcak kurutma ortamına, malzeme bir püskürtücü yardımıyla gönderilir. Giriş gaz sıcaklığı 93 °C ile 760 °C arasında değişir. Isıl verimlilik kurutma ortamı giriş sıcaklığı ile arttığından, yüksek sıcaklıklar tercih edilir.

Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı malzemelerin kurutulması için de uygundur. Kurutma ortamı, besleme akımı ile paralel veya zıt yönde sistemden geçirilebilir. Çıkış gazı ile sürüklenebilen toz halindeki malzeme siklon seperatör veya torba filtrelerde tutulur. Kurutulan ürünün tanecik büyüklüğü, yoğunluğu gibi kitlesel özellikleri kurutma gazının sıcaklığı ve püskürtme karakteristiklerinden etkilenir. Ürünün son nemliliği çıkış gaz akımının sıcaklık ve nemi ile kontrol edilir.

3.3.2.12. Taşınım Etkisiyle Kurutucu

Taşınım etkisiyle kurutma (direkt kurutma) tüm kurutucularda gözlenmekle birlikte, ısı kaynağı olarak sıcak hava veya diğer gazların kullanıldığı kurutucular bu sınıfa girer.

3.3.2.13. Döner Kurutucular

Kurutucu ısıtılması direkt veya indirekt olacağı gibi hava akımı paralel veya zıt akışlı olabilir.

3.3.2.14. Kabinet ve Kompartıman Kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutulacak malzeme temas yüzeyini arttıracak şekilde raflara serilir. Eğer kurutulma olan ürünün içerdiği nem buharı patlayıcı-yanıcı özellikte ise kurutma işleminin başında veya yüksek hızda buharlaşmanın gözlendiği anlarda çıkış havasının tamamı sisteme geri gönderilmeden dışarı verilmelidir. Normal çalışma koşullarında ise çıkış havasının bir bölümünü sisteme geri göndermek ekonomik bir yöntemdir.

3.3.2.15. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutmada çok yüksek frekanslı (900 ile 5000 Mhz) güç kaynağı kullanılır. İletken olmayan maddelerin ısıtılmasına uygulandığından bir dielektrik ısıtma formu olarak nitelenebilir. Mikrodalga kurutma şerit şeklindeki ince malzemelere uygulanır. Sistem giriş ve çıkışında alınması gerekli koruyucu önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikro dalga kurutmayı, dielektrik kurutmaya göre daha pahalı hale getirir.

3.3.2.16. Dielektrik Kurutma

Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilirse, malzeme içinde ısı üretilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelere daha fazla ısı üretilir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik düzenlenir. Su, malzeme aşırı derece ısıtılmaksızın buharlaşır [29].

3.3.3. Kurutucuların Ön Seçiminde Ele Alınması Gereken Önemli Faktörler

Temin edilen malzemenin özellikleri göre;

- Islak durumdayken fiziksel karakteristikleri
- Kuru durumdayken fiziksel karakteristikleri
- Korozyon etkisi

- Tutuşabilirlik
- Zehirlilik
- Parça büyüklüğü
- Aşındırıcılık

Malzemenin kuruma karakteristikleri göre;

- Nemin tipi (bağılı nem , bağısız nem veya her ikisi)
- Başlangıç nem miktarı
- Son nem miktarı (en çok)
- izin verilen kurutma sıcaklığı
- Farklı kurutucular için muhtemel kuruma zamanı

Malzemenin kurutucuya ve kurutucudan akışa göre;

- Birim zamanda kütsel debiler
- Sürekli veya kesikli işlem
- Kurutma öncesi işlemler
- Kurutma sonrası işlemler

Ürün Kalitesi göre;

- Büzülme
- Bulaşma
- Son nem miktarının kararlı dağılışı
- Ürünün bileşimi
- Aşırı kuruma
- Ürün sıcaklığı
- Yığın yoğunluğu
- Alt kısmın durumu

Geri kazanım problemleri göre;

- Toz geri kazanımı
- Çözgen geri kazanımı

Öngörülen yerleşim yerinde mevcut olanaklara göre;

- Hacim
- Havanın sıcaklık nem ve temizliği
- Mevcut yakıtlar
- Mevcut elektrik gücü
- İzin verilen gürültü, titreşim , toz veya ısı kaybı
- Islak ürün beslemenin tipi
- Çıkan eksoz gazları

Kurutma amaçlı temin edilen ıslak maddenin ve kuru halin fiziksel durumu en başta ele alınması gereken bir özelliktir. Sıvı, katı, kristal, taneli yapı veya levha yapıda bulunma gibi özellikler kurutucu seçimini etkileyecektir.

Uygun kurutucu tiplerinin ön seçiminden sonra tüm analizler boyut ve maliyetler üzerine yoğunlaştırılır. Bu değerlendirme için bilgiler kurutucu tiplerindeki malzeme kullanımlarıyla belirlenebilir veya üretici firmalardan sağlanabilir. Kurutucu verimliliğiyle ilgili faktörler bu değerlendirmede özel bir önem taşır.

Seçilen kurutma sisteminin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve kurutma öncesi ve sonrası işlemleri, örneğin filtreleme, öğütme, konveyörle taşıma v.b. gibi, azaltma olanakları da araştırılır.

Sistem giriş ve çıkışında alınması gerekli koruyucu önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikro dalga kurutmayı, dielektrik kurutmaya göre daha pahalı hale getirir [29].

3.3.4. Seramik Kalıpların Kurutulması

Seramik kalıpların katmanlarının kurutulmasında belirgin bir yöntem olmamakla beraber en yaygın olarak kurutma fırınları kullanılmaktadır. Bölüm 3.3.2 de bir takım kurutma yöntemlerinde bahsedilmiştir. Bu yöntemlerin bir kısmı maliyet ve uygulama zorluklarından kaynaklı hassas döküm uygulamaları için uygun değildir.

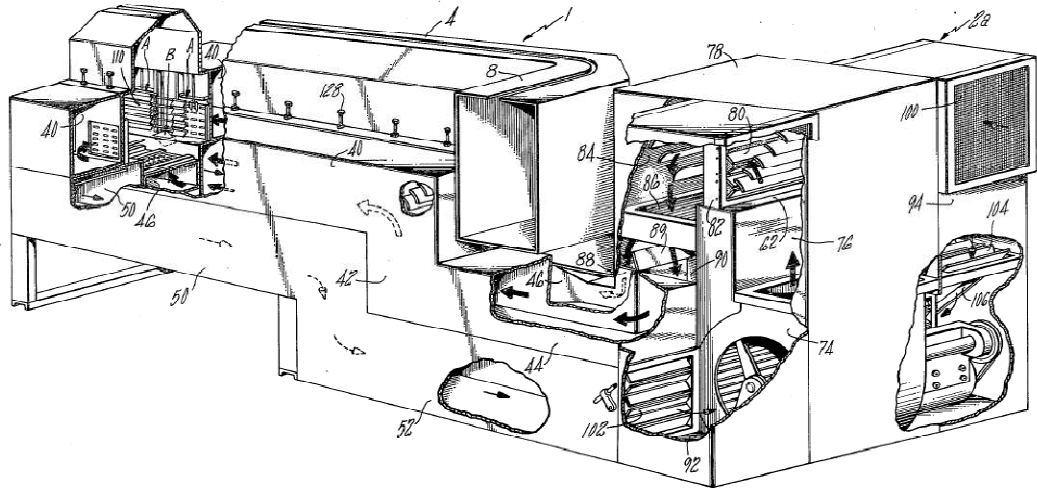
Seramik kaplanmış mum modellenin kurutulması her katman için yapılmaktadır. Kurutma işlemi sırasında mümkün olduğu kadar kullanılan mumun bozulmayacağı ve genleşmeyeceği sıcaklıklarda kurutma işlemi yapılmalıdır. Yani kullanılan muma göre yumuşama sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda kurutma işlemi yapılmaktadır. Eğer mumun yapısını koruyamayacağı sıcaklıklarda kuruma işlemi yapılırsa, dökümden sonra oluşacak parçaların ölçüsel ve geometriksel doğruluğun sağlanması mümkün olmayacaktır. Kurutma tekniği olarak en çok kullanılan yöntemler taşınım, ışıınım ya da her ikisinin oluşturduğu yapılardır kullanılır.

Seramik çamurun üzerindeki nemin buharlaştırılması için fırınlarda ısı kaynağı olarak gaz ve elektrik kullanıldığı gibi, infrared sistemlerde kullanılmaktadır. Elektrikli ve gazlı fırınlarda kurutma işlemi için sıcak hava kullanılmaktadır. Sıcak hava seramik çamurla kaplanmış mum modellerin üzerinden geçerken, seramik katman üzerindeki nemi uzaklaştırmaktadır. İnfrared sistemlerde ise, infrared ısıtıcılar seramik katmanın üzerine direk ısı iletmekte ve hızlı bir şekilde yansıdıkları yüzeyde nemi buharlaştırmaktadırlar. Buharlaşan nem hava sirkülasyonu ile dışarıya atılmaktadır ve bu sayede kurutma işlemi gerçekleşmektedir.

Isı kaynakları haricinde yapılan imalat miktarına bağlı olarak doğal kurutma yöntemleride kullanılmaktadır. Etrafı seramik katmanla kaplı mum modeller ortam sıcaklığına bağlı olarak bir yere asılarak kendi başlarına kurumaya bırakılmaktadırlar. Şekil 3.12’de doğal kurutma uygulaması ve hassas döküm kalıplama hattı gösterilmektedir. Şekil 3.13’de ise seramik kalıbın katmanlarının kurutulması için geliştirilmiş kurutma fırınının resmi gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Seramik kalıbın katmanlarının kurutulması [33]



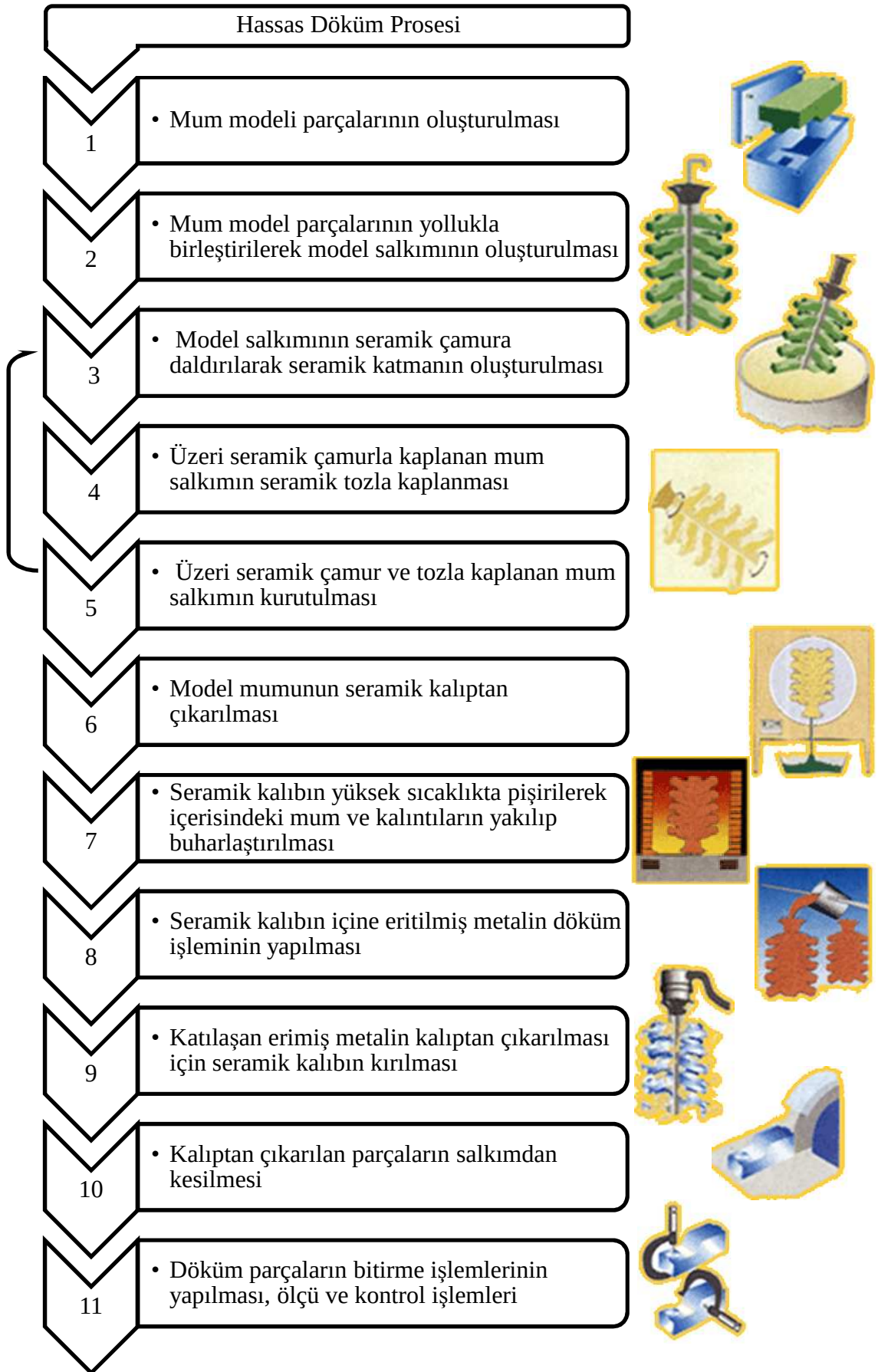
Şekil 3.13. Seramik kalıbın katmanlarının kurutulması için geliştirilmiş kurutma fırını [34]

4. SERAMİK KALIP MAKİNESİ TASARIMI

Hassas döküm geçmişte ve şimdilerde, özellikle medikal implantların, mücevherlerin, jet motoru parçalarının, uçak ve uzay sanayinin, otomotiv sanayinin ihtiyacı olan parçaların üretiminde önemli bir role sahip olmuş ve gelecekte kolayca yok olmayacak bir konu olarak etkisi devam edecektir. Yapılan uygulamalarda fonksiyonelliği ön plana çıkarmasından dolayı, firmalar bu üretim tekniğine önem göstermektedir.

Hassas döküm uygulamalarının en önemli avantajı, çok yönlü bir yapısının olması, maliyetleri azaltıcı bir etkisinin olması ve ölçülerin istenildiği gibi kontrol edilebilmesidir. Bu sayede zaman ve işçilik kazancıyla, parçalar üzerinde ölçüsel ve geometrik doğruluk sağlanarak, mühendisler için çok fazla esneklik sağlanmış olur. Çok yönlülüğü sayesinde endüstrinin ihtiyacı olan çok çeşitli parçaların üretimi sağlanabilir. Bazı fabrikasyon tasarımlarda, diğer döküm metotlarıyla dökülmesi zor yâda imkansız olan tasarımların imal edilmesine imkan tanır. Zor tasarımlar ince duvarlı yapılar, çok detaylı parçalar, oldukça hafif ve güçlü parçalar olarak sınıflandırabilir. Bu teknikle, imal edilen parçaların kaynak ve diğer birleştirme yöntemlerinden kaçınılır. Hassas döküm çok çeşitli metaller ve alaşımlarla kullanılır. Buda tasarımcılar ve mühendislere dökümün üretilebilirliğinin yerine fonksiyonelliğinin üzerine odaklanmalarını sağlar. Aynı zamanda, bu hassas dökümün ana avantajıdır.

Bu yöntemle üretilebilecek parçalar, sadece yüksek hassasiyet isteyen hafif parçalar değil, aynı zamanda hassas ölçü kontrolü, son detayları olmayan ve makine ile işleme tabii tutulmayan parçalarında üretilmesi mümkündür. Bu sayede kum dökümde ya da diğer metotlarla elde edilemeyen iyi yüzey kalitesine sahip parçalar elde edilir. Kaynak, birleştirme ve son işleme gereksinim duymayan parçaların imalatı aynı zamanda maliyeti azaltır. Bu sayede daha sonra kaynak üretimine tabii tutulacak, çoklu parçaların üretiminden kaçınılır. Şekil 4.1’de hassas dökümün proses şeması gösterilmektedir [35].

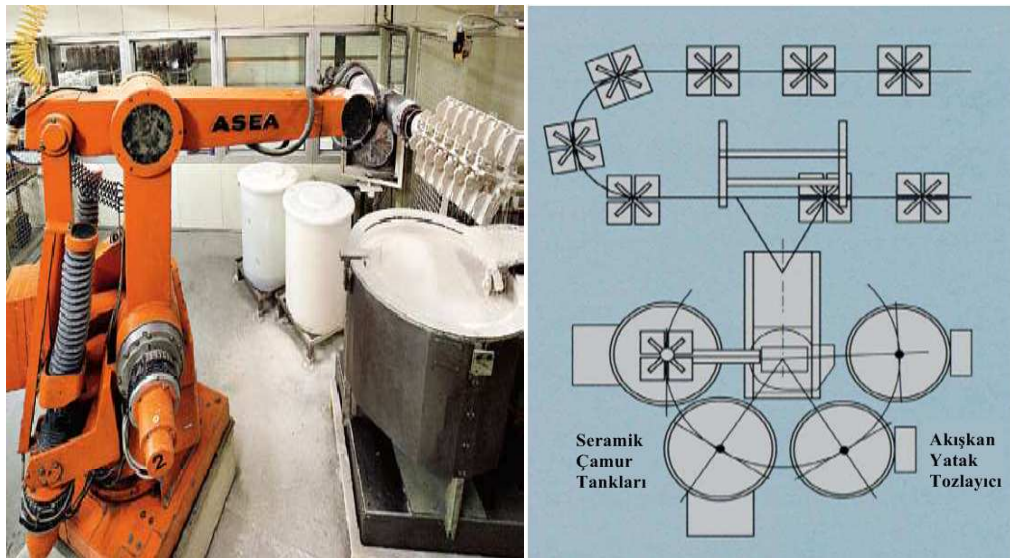


Şekil 4.1. Hassas döküm proses şeması [36]

Fabrikasyon kompleks metal parçaların hızlı ve minimum maliyetle üretilme arayışı, hızlı prototipleme uygulamalarıyla hassas dökümünün birlikte kullanımıyla sonuçlanmıştır. Hızlı prototipleme uygulamaları hassas dökümünde önüne geçerek istenilen metal parçaların lazerle sinterlenmesine imkân sağlamaya kadar ilerlemiştir. Aynı zamanda hızlı prototip uygulamalarıyla seramik kalıpların üretilmesi teknolojisi de gelişmektedir.

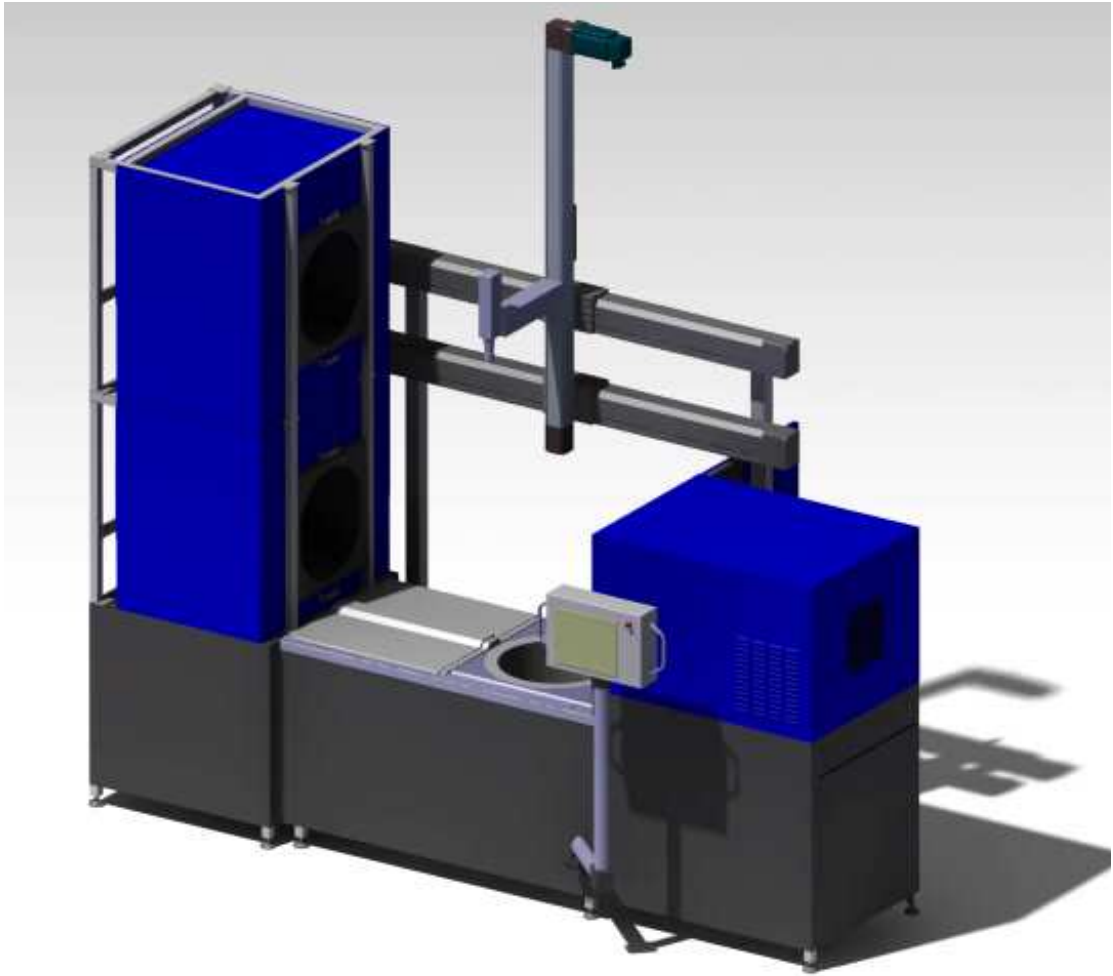
İmalatta zaman tasarrufu faktörünün önemi durmadan artmaktadır. Hassas dökümde ise, seramik kalıbın kuruması çok uzun sürdüğünden, kuruma zamanının aşırı derecede azaltılması avantajı bellidir. Birçok firma seramik kalıpların kurutulması için birçok teknik kullanmaktadır. İleriki zamanlarda imal edilecek malzemelerin müşterilere birkaç hafta süreceğini açıklamak çok güç olacaktır.

Firmaların zaman kazanma istekleri, onları mümkün olduğu kadar otomasyona yöneltmektedir. Bu nedenle seramik kalıpların üretilmesinde daldırma ve Kumlama işlemleri için robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu robotlar daha sonra üretim hatlarıyla birleştirilerek zaman ve iş gücü kazanımına gidilmiştir. Robot kullanımı sayesinde seramik kalıpların imalatı sırasındaki daldırma ve Kumlama esnasında, elle yapılan uygulamalara göre, meydana gelen hatalarda azalma olmuştur. Şekil 4.2’de robot uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Hassas dökümde kalıp üretiminde robot uygulamaları [37]

Hassas dökümde seramik kalıpların oluşturulmasını sağlamak için kumlama ünitesi, seramik çamur tankı, kurutma sistemi ve aynı zamanda seramik kalıbın bu sistemler arasında dolaşmasını sağlayacak bir robot kolun birleştirilmesiyle bir sistem meydana getirilebilmektedir. Bu olay, bir fabrikadaki seramik çamur hattındaki operasyon istasyonlarının hepsinin bir makine üzerinde toplanmasıyla eşdeğerdir. Bu nedenle tasarlanacak makinenin bütün bu sistemleri kapsayacak şekilde ve mümkün olan en hızlı kurutma seviyesine sahip olmalıdır. Şekil 4.3’de bu amaçla tasarlanmış seramik kalıp makinesi gösterilmektedir.

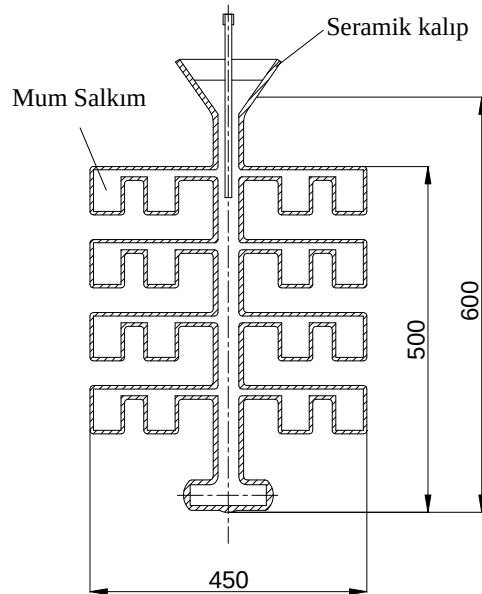


Şekil 4.3. Seramik kalıp makinesi tasarımının perspektif görünüşü

Bu makine, birincil ve ikincil toz katmanları için iki adet toz yağmurlama ünitesi, birincil ve ikincil seramik çamur üniteleri için iki adet seramik çamur tankı ve seramik çamurla kaplanacak mum salkımını bu sistemler arasında dolaştıracak bir robot sistemle donatılmıştır. Aynı zamanda kumlama istasyonunda, kumlama

esnasında oluşan küçük toz partiküllerinin emilmesi için toz filtresi, mum salkımın seramik çamurla kaplanması esnasında sıcaklığının belli derecede, öngörülen sıcaklık değeri 25°C, tutularak mumun yumuşamamasını sağlayan soğutma sistemi ve kurutma fırınına, seramik çamurun kurutulması işlemini hızlandıracak nem alıcı sistemde eklenmiş olması gerekmektedir.

Tasarlanmış makine Ø450X500 mm ebatlarındaki mum salkımı, seramik çamurla kaplayıp, toplam ağırlığı 15 kg olan mum ve seramik kabuğu daha sonraki işlem olan, mumun boşaltılması işlemine hazır hale getirmektedir. Yapılacak olan döküm işlemine göre katman sayısı ayarlanacağından makinenin kapasitesi değişmektedir. Şekil 4.4’de mum salkım ve seramik kabuğun ebatları gösterilmektedir.

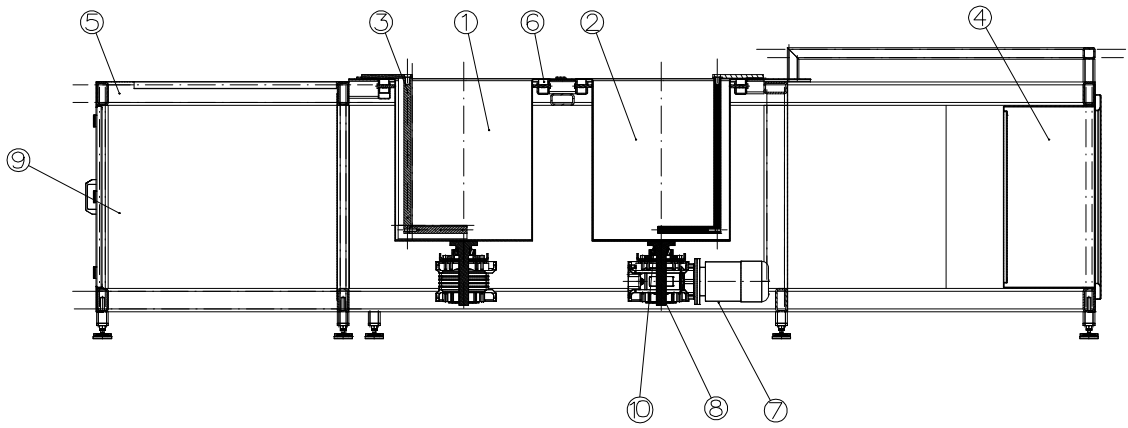


Şekil 4.4. Tasarlanan makinenin oluşturabileceği seramik kalıp ölçüleri

Tasarlanan makine daha çok, orta ölçekli firmalar ve hızlı prototipleme uygulamaları yapan firmalarda kullanılmak için uygundur. Makinenin yapısı çekirdek oluşturduğundan, makinenin modülerini ayrı ayrı kullanabilmek için, üzerinde değişiklik yapılarak ayrılabilir ve elle yapılan uygulamalar ya da daha geniş otomasyonlar için kullanılabilir. Makinenin kurutma ünitesi tek başına seri imalatla kullanılmak amacıyla, tekrar tasarlanıp bir kurutma hattı oluşturulabilir.

4.1. Seramik Kalıp Makinesi için Seramik Çamur Karıştırma Tankı

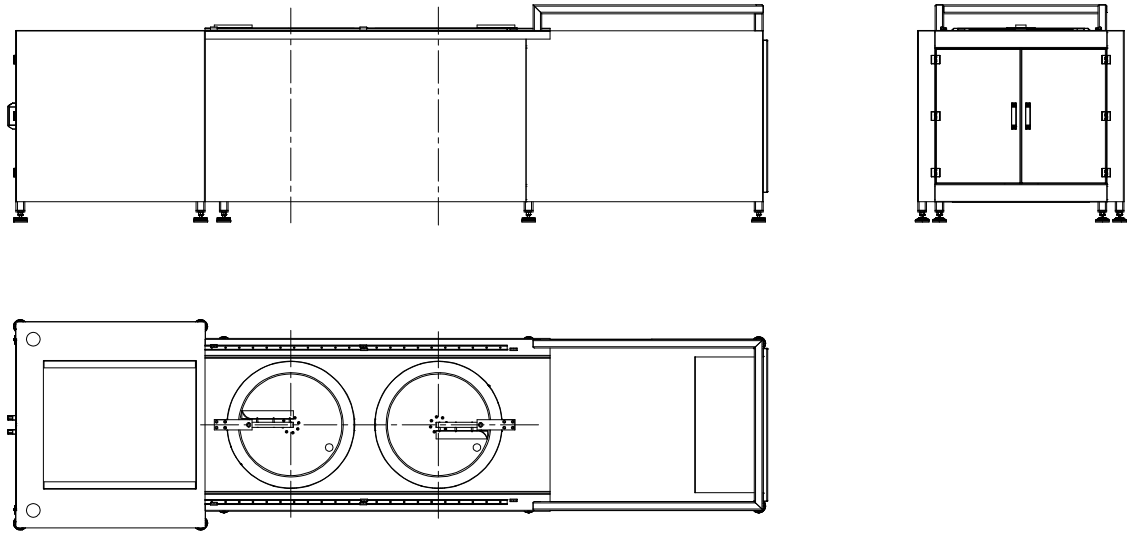
Tasarım için seçilen model, kendi ekseninde dönebilen, sabit sıyırıcı kanadı bulunan, sıyırıcılı tip karıştırıcı kazandır. Bu modelin seçilmesindeki amaç sistemin komplike yapılabilmesi ve yer kazancının mümkün olduğu kadar fazla olmasıdır. Sabit tip kazanlar, karıştırıcı motor ve buna bağlı bir adet pervane içerir. Bu modelin seçilmemesindeki ana amaç, kazanın üst tarafında, mum salkımının seramik çamurla kaplanması esnasında daha fazla engelle karşılaşılabilecek hareketler belirli seviyelerde kısıtlanacak olmasıdır. Şekil 4.5’de karıştırma tanklarının yapısı gösterilmektedir. Tasarımın parçaları;



Şekil 4.5. Seramik kalıp makinesi için seramik karıştırıcı tankı kesit görünüşü

1. Birinci seramik karıştırma tankı
2. İkinci seramik karıştırma tankın
3. Sıyırıcı kanat
4. Elektrik panosu
5. Taşıyıcı şase
6. Denge tekerlekleri
7. Redüktör
8. Tahrik mili' dir

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’da tasarımın 3 görünüşü ve perspektif görünüşü görülmektedir.



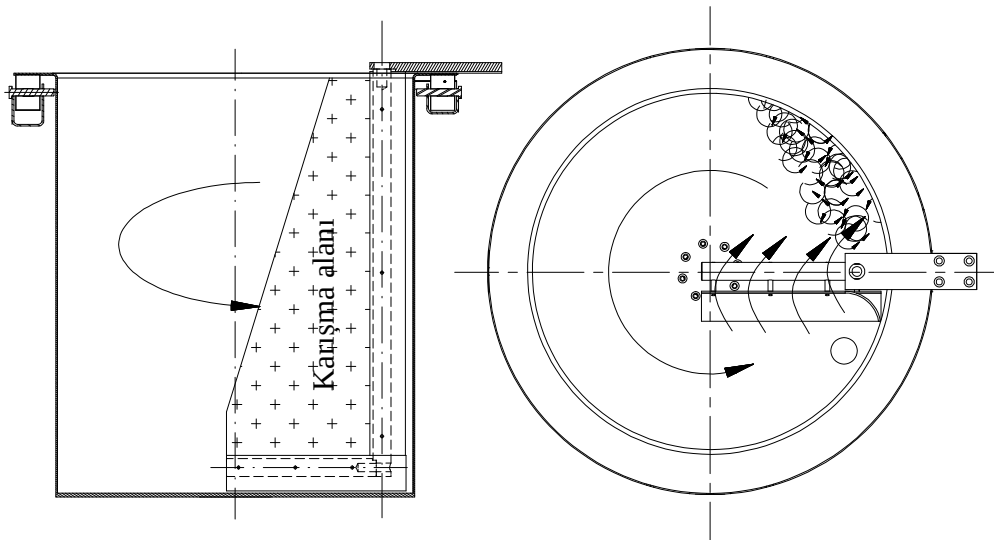
Şekil 4.6. Seramik kalıp makinesi için seramik karıştırıcı tankı üç görünüşü



Şekil 4.7. Seramik kalıp makinesi için seramik karıştırıcı tankı perspektif görünüşü

Seramik çamuru karıştırarak olan kazanlar, tasarımı makinenin ana gövdesine montaj edilmiştir. Birincil ve ikincil seramik çamurları aynı anda muhafaza etmek için 2 adet kazan kullanılmıştır. Karıştırma işlemi sıyrıcı bir kanat yardımıyla yapılmaktadır. Sıyrıcı kanat karıştırıcı kazanın duvarı ve tabanına 2mm kalacak yakınlıkta durmakta ve seramik çamuru tankın dönmesi esnasında karıştırmaktadır. Karıştırma işlemi için kazanlar, tabanlarına monte edilmiş redüktörlerle direk olarak döndürülmektedir. Redüktörlerin motorları 0,75 kW gücünde düşünülmüş olup devirleri 60 dev/dk olarak ön görülmüştür. Yüksek devirlerden, hem mum salkım üzerinde oluşan kuvveti arttıracağı hemde merkezkaç kuvveti oluşturacağından tercih edilmemiştir. Değişik devirlerde redüktörlerin motorlarının kontrolü için sisteme invertör ilave edilebilir. Tankın ebatları $\varnothing 600 \times 700$ mm olarak tasarlanmış ve 2 mm paslanmaz çelik kullanılacaktır. Paslanmaz malzeme kullanarak, seramik çamurun demir alaşımlı malzemeleri korozyona uğratarak oluşan demir oksitle bozulması engellenmiş olmaktadır. Seramik kaplanan mum salkımın kumlama ünitesi ve kurutucu ünite arasında hareket ettirilmesi esnasında, seramik çamurun kirlenmemesi için tanklar, sürgülü kapaklarla kapanmaktadır.

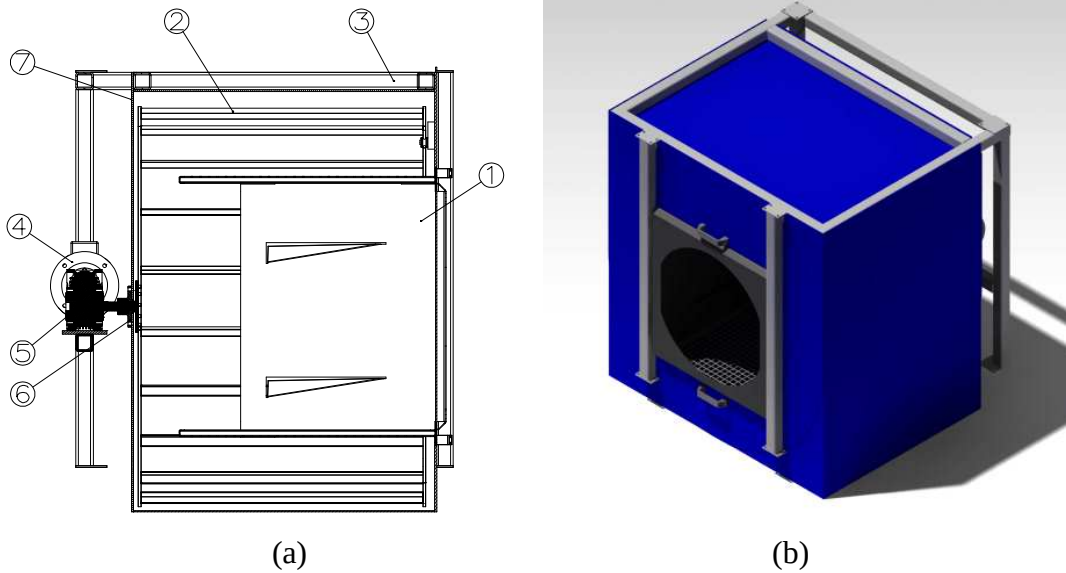
Karıştırıcı kazanın çalışma sistemi oldukça basittir. Redüktör tarafından kendi eksenini etrafına çevrilen karıştırıcı tankın içindeki seramik çamur, dairesel hareket sayesinde kazanla birlikte hareket eder ve sabit olan kazıyıcı kanatın etrafından geçerken karışma işlemi gerçekleşmektedir. Şekil 4.8'de karıştırma işlemini gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Karışma işlemi sırasında oluşan sembolik akışlar

4.2. Seramik kalıp makinesi için Toz Yağmurlama Ünitesinin Tasarımı

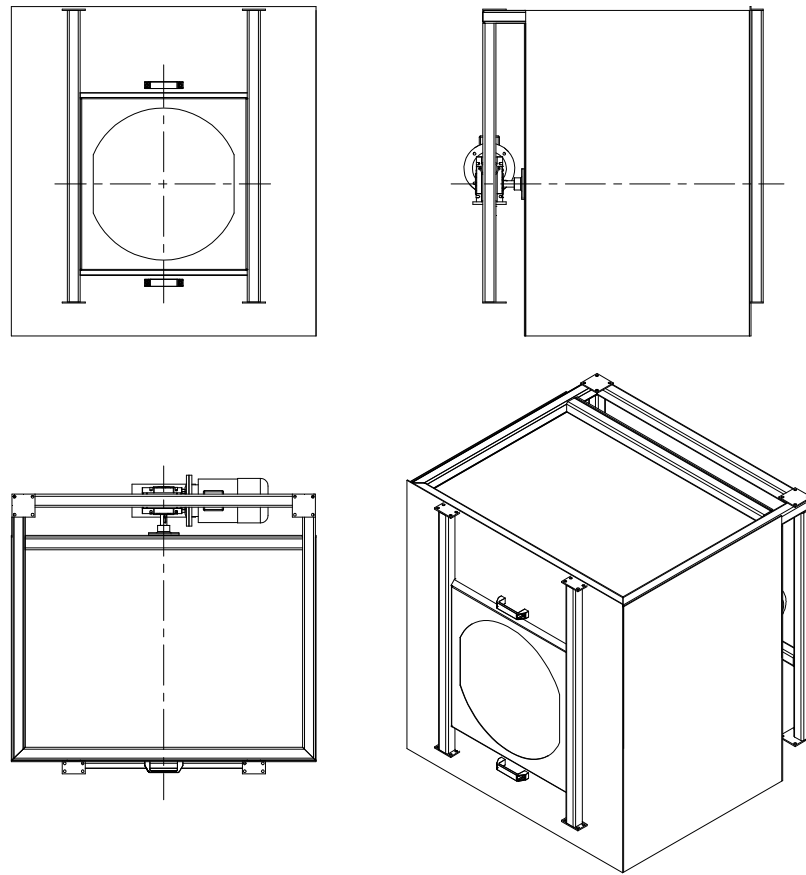
Tasarım için seçilen model rotary tip kumlama ünitesidir. Yapı olarak bakıldığında modüler olabilmesi ve yapının diğer modellere göre sistem gereksinimlerinin az olması model olarak belirlenmesindeki en önemli etkendir. Akışkan yataklı kumlama ünitesi, makinenin boyunun daha uzun olmasını sağlayacağından ve verimlilik olarak yağmurlama kumlama ünitelerinden daha az verimlilik göstereceği için tercih edilmemiştir. Şekil 4.9'da seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı gösterilmektedir. Tasarımın parçaları;



Şekil 4.9. Seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı detay görünüşü

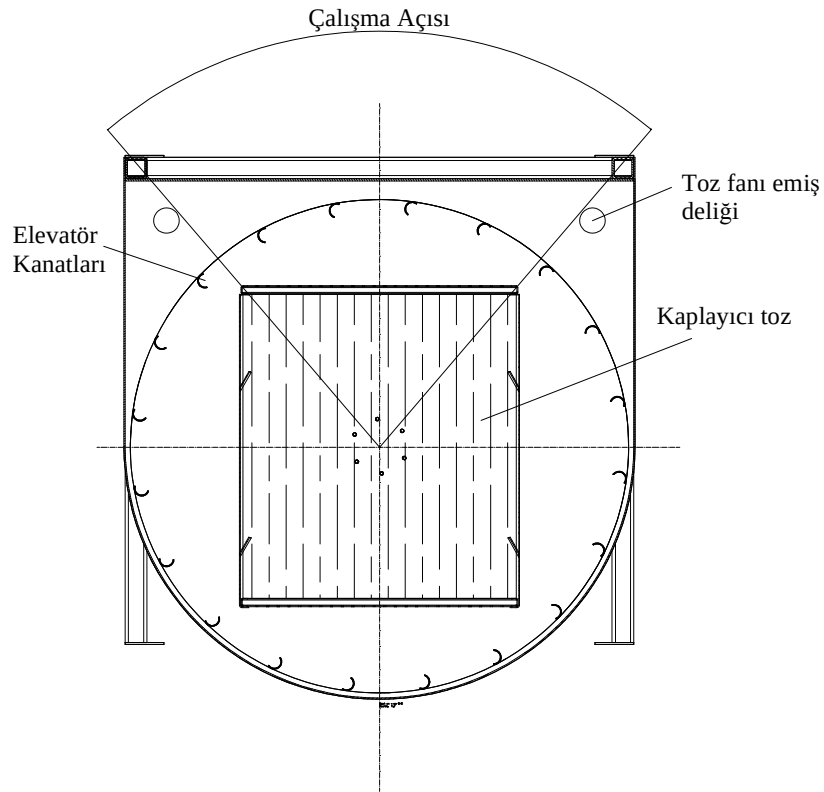
1. Toz yağmurlama haznesi ve toz eleği
2. Elevatörlü tambur
3. Şase
4. Redüktör
5. Tahrik mili
6. Bağlantı Parçası
7. Koruyucu saç bölüm' dür.

Tasarım komple demonte olabilecek şekilde civatalı bağlantı olacak şekilde düşünülmüştür. Bu sayede herhangi bir arızada ana makineden ayrılıp kolaylıkla ayrılıp bakımı yapılarak, yerine geri takılabilmektedir. Dönen tambur aşındırıcı kumun etkisiyle zamanla aşınmaya maruz kalacağından tasarımın ön kısmı demontaj olacak şekilde civatalı düşünülmüştür. Aynı zamanda tambur iki yatak arasında asılı durmaktadır. Redüktörlü direk tahrik sistemi düşünülmüş, kayış kasnak ya da benzer sistemler tercih edilmeyip, yer kazancı sağlanmıştır. Redüktör motoru 0.75 kW gücünde 90 dev/dak olarak düşünülmüştür. Giriş ağzı 600mm çapında olup, derinliği 800 mm ve toz yağmurlama alanı 650x750 mm dir. Toz yağmurlama haznesi ve toz eleği bir oda gibi düşünüldüğünden her yere homojen ve eşit miktarda akış sağlanmaktadır. Şekil 4.10'da seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı

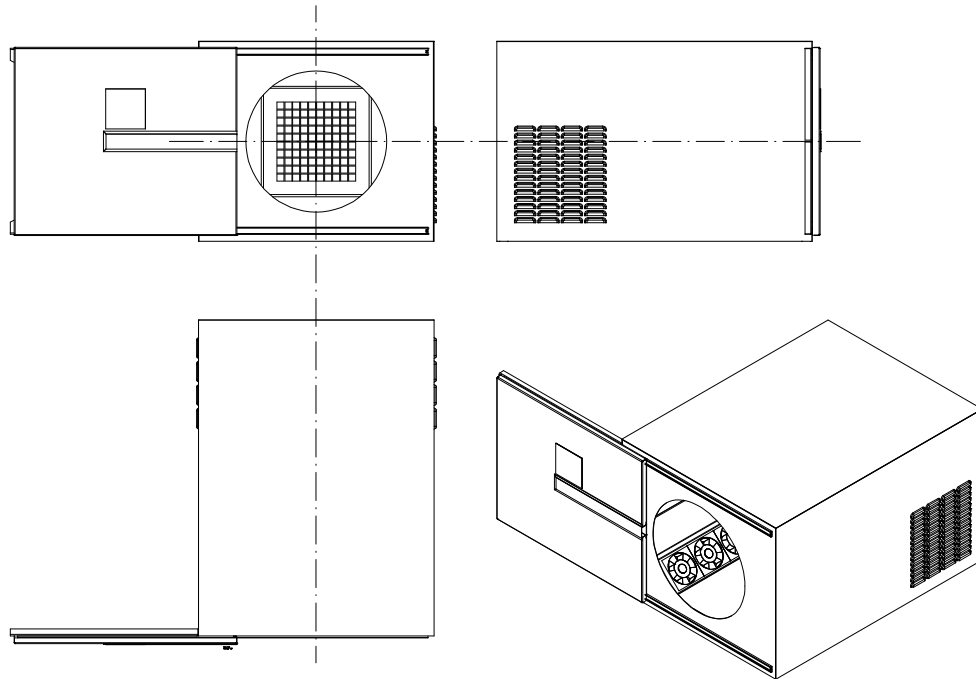
Kumlama işleminin verimli yapılabilmesi için elevatör kanatlarının yerleşimi, çalışma açısı doğrultusunda olmalıdır. Kanat açıları zeminden alınan kumun dönme esnasında, çalışma açısı haricinde dökülmeyecek şekilde olmalıdır. Tamburun devri merkezkaç etkisi oluşturmayacak düzeyde belirlenmelidir. Tambur üzerinde merkezkaç etkisi oluşursa, elevatör kanatlarındaki toz dökülmeyecektir. Tasarımına monte edilmiş emiş fanları bir vakum etkisi oluşturarak, kumlama esnasında atmosfere kaçmaya çalışan tozları makinenin içinde tutmaktadır. Bu tozlar daha sonra bir hava filtresi yardımıyla ayrıştırılmaktadır. Şekil 4.11’de toz yağmurlama ünitesinin çalışması gösterilmektedir.



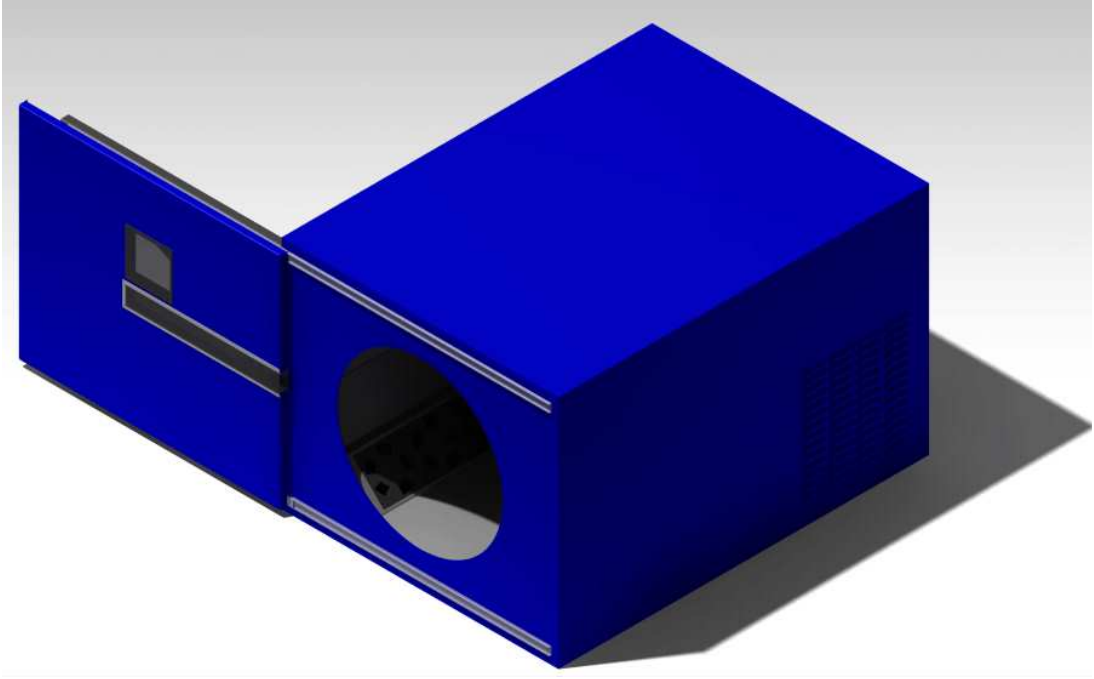
Şekil 4.11. Seramik kalıp makinesi için toz yağmurlama ünitesi tasarımı detay görünüşü

4.3. Seramik Kalıp Makinesi için İnfrared Kurutucu Fırın Tasarımı

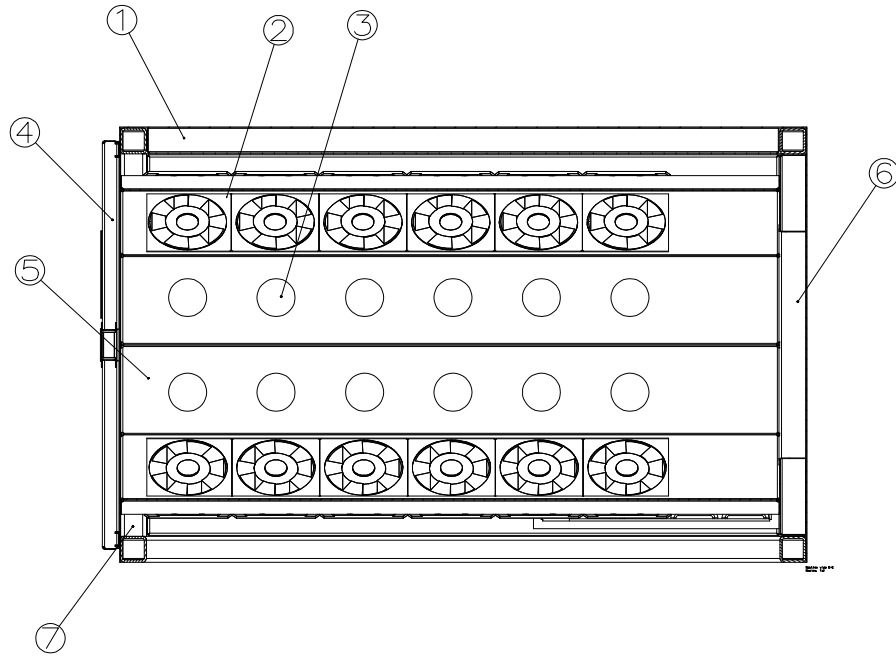
Mum üzerine kaplanan seramik kalıpların kurutulması için infrared kurutucu çalışma şekli şu şekildedir. İnfrared ışığın dalga boyu, sadece yüzeye etki edip, dip bölgelere ulaşmayacak şekilde, suyun spektrumuna göre adapte edilir. Yüksek orandaki türbülanslı hava uygun bir hızla seramik çamurla kaplı mumun üzerinden geçirilip nemin uzaklaştırılması sağlanır. Kurutma havası sistemi önceden belirlenmiş olan sıcaklık değerinin aşılmamasını sağlamaktadır. Havanın gerçek nem değeri, çalışma sırasındaki sıcaklık ve seramik kaplı mum model üzerindeki sıcaklık değeri kontrol sistemi tarafından sürekli kontrol edilmektedir. Bu üç değer mumun sıcaklığının 25°C aşmaması ve seramik kabuğun çatlamamasına emin olmak için sürekli olarak kontrol edilmelidir. Bu üç değer iyi bir şekilde koordinasyonu ile komple sistemin dengesinin kurulması amaçlanmıştır. Eğer bu değerlerden biri sağlanamazsa sistemin durması gerekmektedir. Sistemde oluşturulan 38 - 40°C civarındaki maksimum yüzey sıcaklığı sayesinde mumun kalıcılığı bozulmamaktadır. %10 oranında evaporatif soğutma hedeflenmekte, bu sayede mum otomatik olarak soğutulacağı planlanmıştır. Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te infrared kurutuma sisteminin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Seramik kalıp makinesi için seramik kurutucunun üç görünüşü



Şekil 4.13. İnfrared kuturucu fırının görünüşü

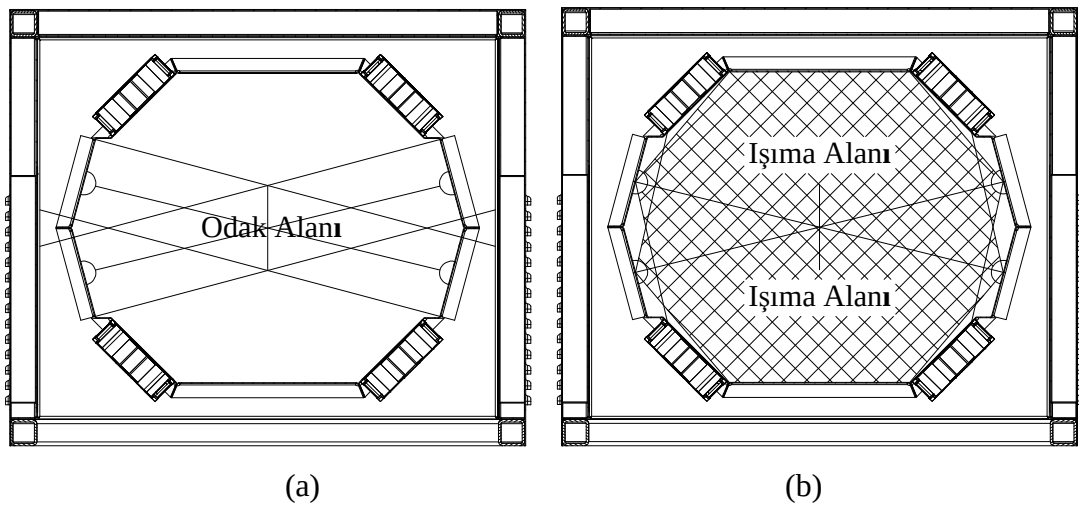


Şekil 4.14. Seramik kalıp makinesi için İnfrared fırın kesit görünüşü

İnfrared kurutma fırınının parçaları;

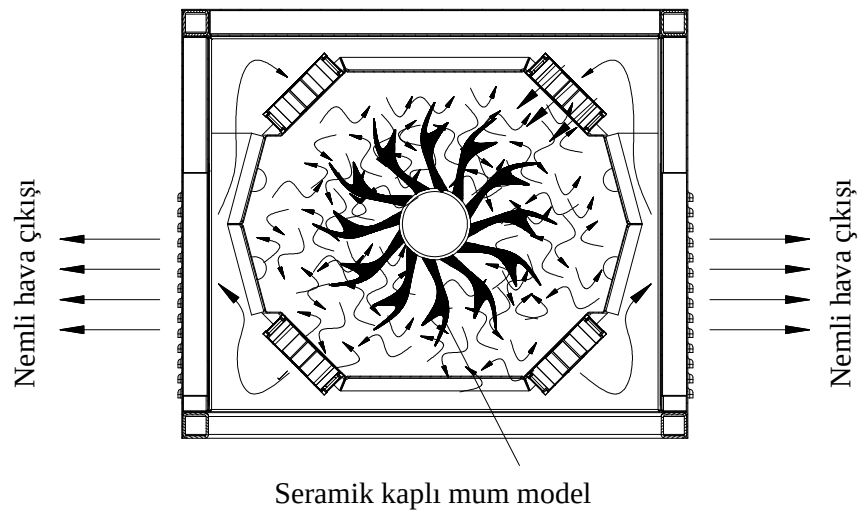
1. Taşıyıcı Şase
2. Hava akımı oluşturan fanlar
3. İnfrared ampuller
4. Kayar kapı
5. Hava tüneli
6. Soğutucu
7. Koruyucu saç bölüm'dür.

Şekil 4.15'de infrared fırın için odak alanları ve ışıma alanları gösterilmiştir. İnfrared ısıtma için quarz tüplü uzun floresanlar olmakla beraber normal ampullerde mevcuttur. Isıtma için ampul kullanılmasına karar verilmiş olup bu sayede proses esnasında herhangi bir aksaklık çıktığında ışıma sistemiyle alakalı olumsuzlukların en aza indirilmesi hedeflenmiştir. İnfrared ampullerin dizilimi hepsinin fırın boyunca merkez noktaya odaklanmasını sağlayacak şekilde düşünülüp infrared ışınların oluşturulan seramik salkımın yoluna kadar rahatlıkla ulaşması planlanmıştır. Proses esnasında seramik kalıp 30 dev/dak ile dönmektedir. Bu sayede seramik kalıbın her kısmının odak alanından geçerek yüzeylerin hızlı bir şekilde kurutulması sağlanmaktadır. Odak alanından sonra ışıma alanındaki bölgede, seramik kalıp direk infrared ışınlar maruz kalmayacağından yüzey üzerinde aşırı şekilde ısınma engellenmiş olup aynı zamanda ısı dengede korunmuş olmaktadır.

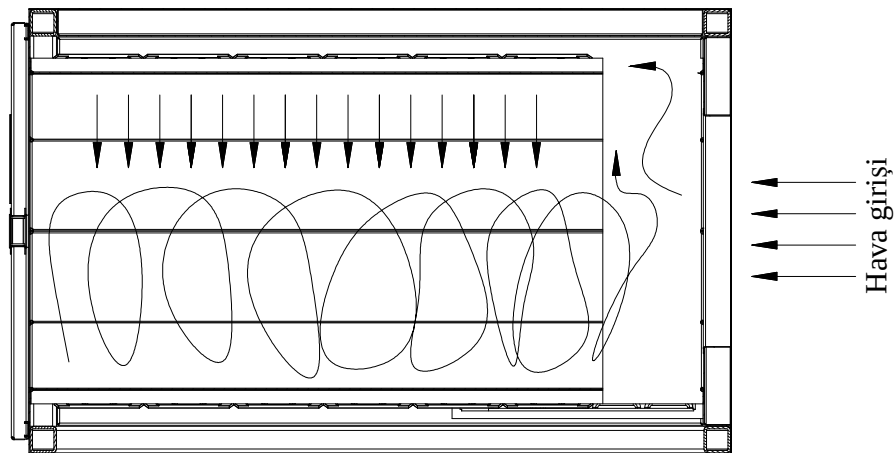


Şekil 4.15. Kurutma fırınının infrared özellikleri (a) Odak alanı (b) Işıma alanı

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de kurutucuya giren havanın sembolik akım çizgileri gösterilmektedir. Bir soğutucu üzerinden geçerek içeri giren, sıcaklığı düşürülerek nemi alınmış kuru hava, fırınının içerisinden geçerek seramik kalıbın üzerinden buharlaştırılmış nemin uzaklaştırılması sağlanır. İçeriye giren kuru hava içerideki kanallar vasıtasıyla kurutma odasının üzerinde bulunan hava fanlarından içeri üflenir ve kendi ekseninde dönen mumla kaplı seramik çamurun üzerinden türbülans şeklinde dolanarak alt kısımlardaki fanların yardımıyla, infrared ışıyla buharlaştırılmış nem ortamdan dışarıya atılır. Giriş ve çıkış havası kanallar vasıtasıyla birbirinden ayrılmıştır.



Şekil 4.16. Kurutma fırınında oluşan sembolik hava akımları



Şekil 4.17. Kurutma fırını boyunca oluşan sembolik hava akımları

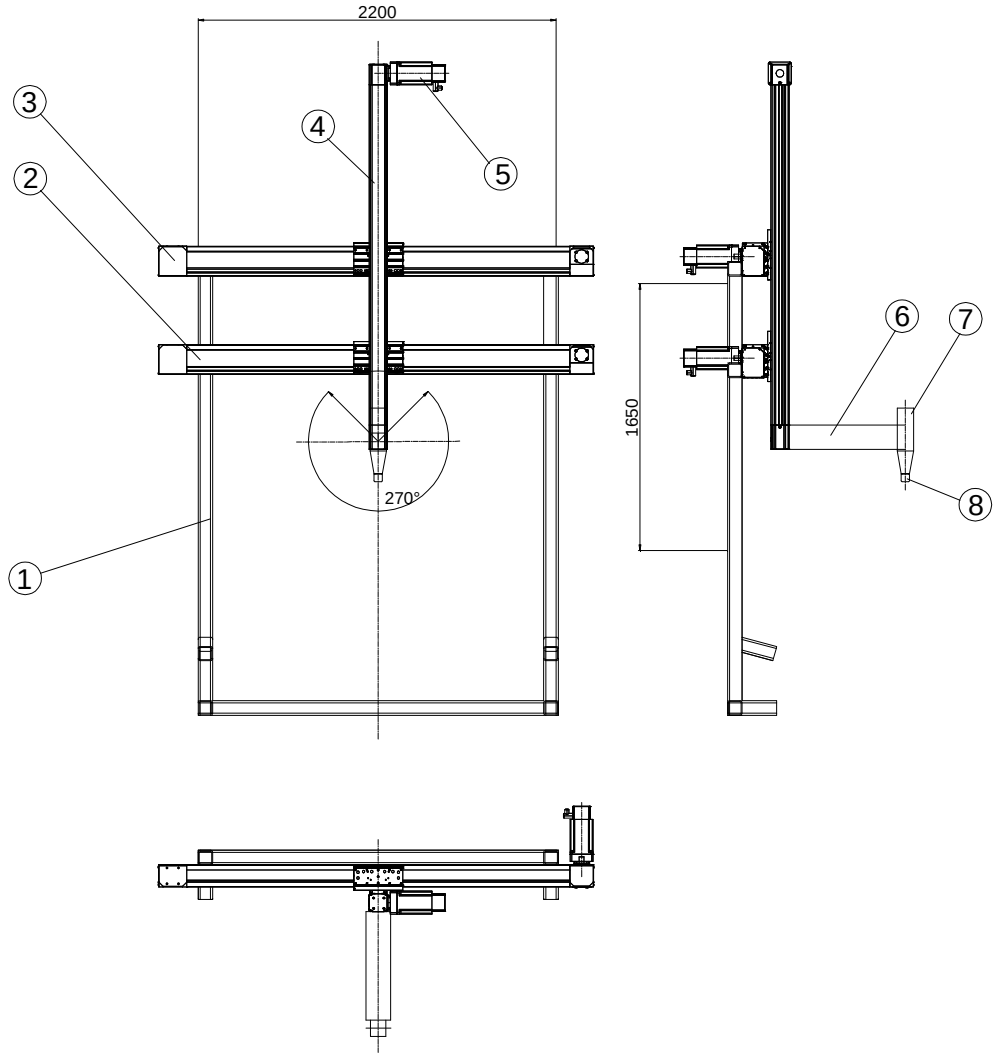
Elle yapılan kurutma işleminde, bir seramik kabuk kalıbı oluşturmak için yaklaşık üç gün harcanmakta ve bu süre içindeki kurutma işlemi bir iki gün almaktadır. Bu sistemle kurutma işlemini 4 – 5 saat gibi kısa sürelerle kadar azaltmak ve sonrasında mumun dışarı çıkartılması işlemine hemen başlanabilmesi hedeflenmektedir. Bazı seramik kabuk kalıpların oluşturulması 9 güne kadar çıkmaktadır, bu sistemle 10 – 11 saate kadar azalabileceği düşünülmektedir. Burada odaklanması gereken nokta mümkün olan en kısa kuruma zamanı değil, güvenli ve en etkin şekilde proses işleminin yapılmasıdır.

Birçok hassas döküm firması yeni proseslerle ilgilenmektedir, çünkü maliyetlerin düşürülmesi ve çevrenin korunması için alkol içeren seramik çamurlarla, su bazlı seramik çamurların yerini değiştirmek istemektedirler. Tasarlanan makine için kurutma sistemi sadece infrared ışığın spektrumdan kaynaklı su bazlı seramik çamurlarda çalışmaktadır.

4.4. Seramik Kalıp Makinesi için Hareket Mekanizması ve Kontrolü

Seramik kalıp makinesinde, seramik kalıp oluşturabilmek için 4 eksenli bir hareket sistemi gerekmektedir. Şekil 4.18’de hareket sistemi gösterilmiştir. Bu sistemin parçaları;

1. Taşıyıcı sistem
2. Yardımcı kızak
3. X ekseninde hareket sistemi
4. Y ekseninde hareket sistemi
5. Servo motor
6. Başlık kısmını 270° döndürebilen taşıyıcı kısım
7. Kendi ekseninde dönen seramik kalıbın takıldığı başlıktır



Şekil 4.18. Seramik kalıp makinesi için hareket mekanizması

Seramik kalıp makinesi tasarımı için kullanılacak sensörler;

1. Kurutma havasının hızının ölçülmesi için sensör (anamometre)
2. Seramik kabuğun kurutulması sırasında dış sıcaklığının ölçülmesi için sensör (lazer termometre)
3. Fırın sıcaklığının ölçülmesi için sensör (sıcaklık sensörü)
4. Seramik tankı içindeki, seramik çamurun sıcaklığının ölçülmesi için sensör
5. Seramik çamurun viskozitesinin ölçülmesi için sensör
6. Mum salkımının seramik çamura daldırma işlemi esnasındaki mesafeyi ölçen sensör (kapasitif sensör)
7. Döndürme ve hareket esnasında encoder lardan sinyal alınması

8. Redüktörlerin çalışmalarının gözlenebilmesi için akım transformatörü kullanımı
9. Seramik tankların kapaklarının açık ya da kapalı olduğunun kontrolü için sensör (indüktif sensör)
10. Kurutma fırınının açık kapalı olduğunun kontrolü için sensör (indüktif sensör)
11. Kurutma fırınının içinin nemlilik oranını gösteren sensör (higrometre)
12. Kurutma fanlarının kontrolü için DC akım ayarlayıcı
13. Ana kontrol ünitesi

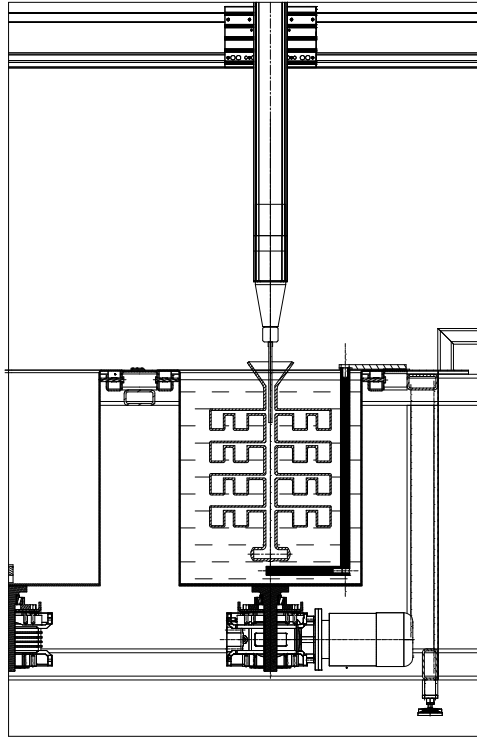
Bunların haricinde maksimum hareket mesafelerin aşılmaması için indüktif sensörler, pnömatik devre elemanları ve selonoid valfler kullanılmaktadır.

Mum salkımın tasarlanmış modüller arasında dolaşmasını sağlamak için, sağa – sola hareket (X ekseninde hareket), yukarı – aşağı hareket (Y ekseninde hareket) , mum salkımın kendi eksenini etrafında dönmesini sağlayan hareket ve mum salkımının süzülmesi için 270° dönüş sağlaya bilen hareket sistemini içeren dört eksenli bir sistem gerekmektedir. Endüstride seramik kalıp üretimi birçok eksene sahip robot kollarla sağlanmaktadır. Sistem çok hassas hareket istemediğinden tasarımında 1mm duyarlıklı elemanlar kullanılabilir, buda maliyetleri etkileyen bir faktördür.

Tasarımda sağa ve sola hareket için servo motorla kontrol edilen lineer bir sistem kullanılmıştır. Yukarı ve aşağı hareket sistemi içinde aynı şekilde lineer bir sistem kullanılmıştır. Mum salkımın kendi etrafındaki hareket için küçük ebatlarda istenilen devri sağlayabildiğinden, servo motor kullanılmıştır. 270° lik dönüşü sağlayabilmek için encoder kontrollü 60 dev/dak lı bir redüktör kullanılmıştır. Mum salkımın hareket sistemine bağlanabilmesi için geçmeli bir pens sistemine sahip mandren başlığı kullanılmıştır. Bu başlığa mum salkımın bağlanabilmesi için, mum yolluğun içine bağlantı için özel olarak tasarlanmış bir milin yerleştirilmiş olması gerekmektedir.

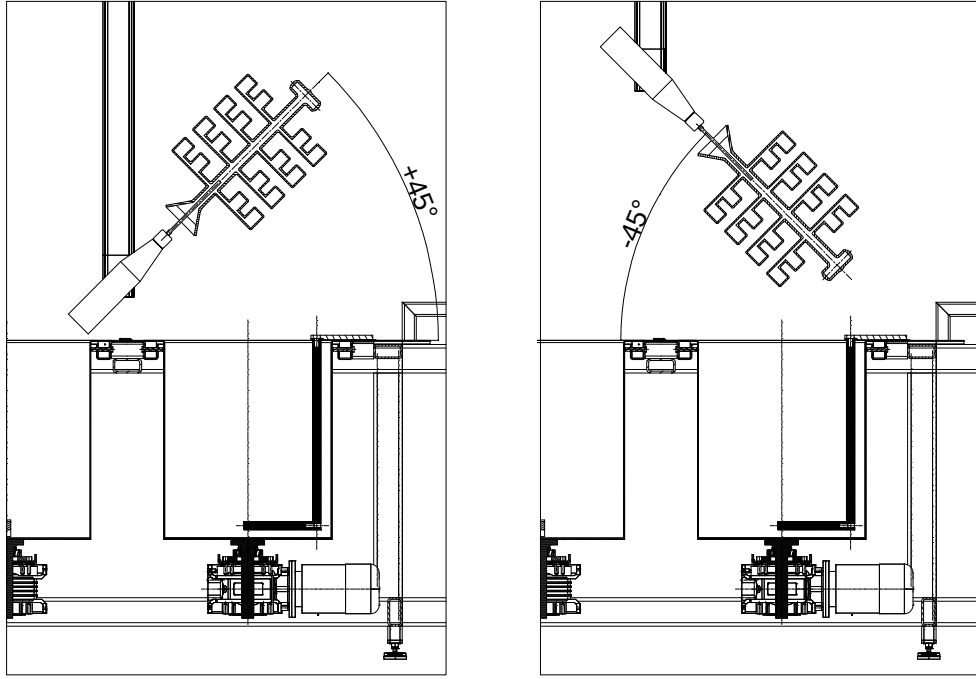
Sistemim çalışması şu şekilde tasarlanmıştır; Start komutu verildiğinde mum model salkımının takılı olduğu taşıyıcı başlık, sıfır noktası olan makinenin orta noktasında, kendi ekseninde dönmeye başlar ve birinci seramik kazanına doğru

hareket eder. Bu esnada seramik çamur tankının koruyucu kapağı pnömatik bir piston yardımıyla kızak üzerinde hareket ettirilerek açılır. Mum salkım seramik çamurun içine daldırılır. Şekil 4.19’da seramik çamura daldırma işlemi gösterilmektedir. Mum model salkımının tamamının kazan içine daldırılmasından sonra, salkım tamamen seramik tankın içindeyken, seramik çamur tankı dönmeye başlar.



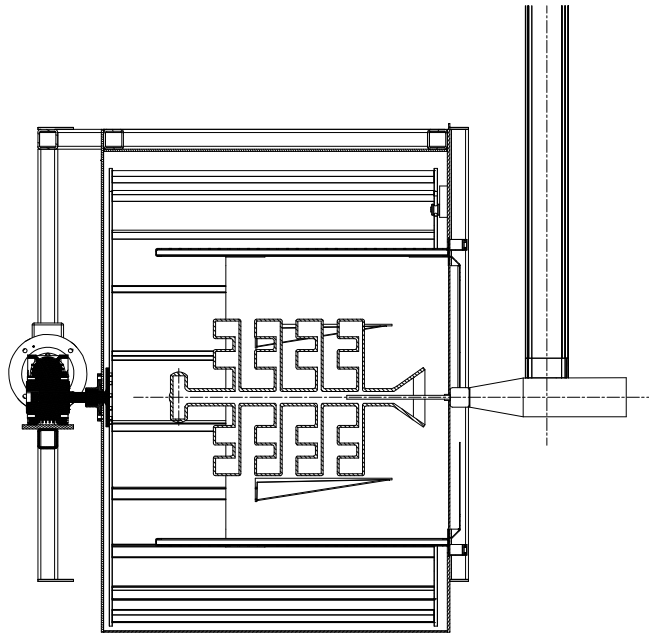
Şekil 4.19. Seramik çamura daldırma işlemi

İki veya üç kere seramik çamura daldırma işleminden sonra, mum salkım dışarı çıkartılarak süzülme işlemine tabii tutulur. Süzülme işlemi taşıyıcı başlığın $+45^\circ$ ve -45° açı yapacak şekilde konumlandırılmasıyla gerçekleşir. Mum salkım kendi eksenini etrafında dönerken süzülme işlemi kendiliğinden meydana gelir. Süzülme hareketi birbiri ardına sırayla iki ya da üç kez tekrarlanır. Şekil 4.20’de seramik kalıbın süzülme işlemi gösterilmektedir.

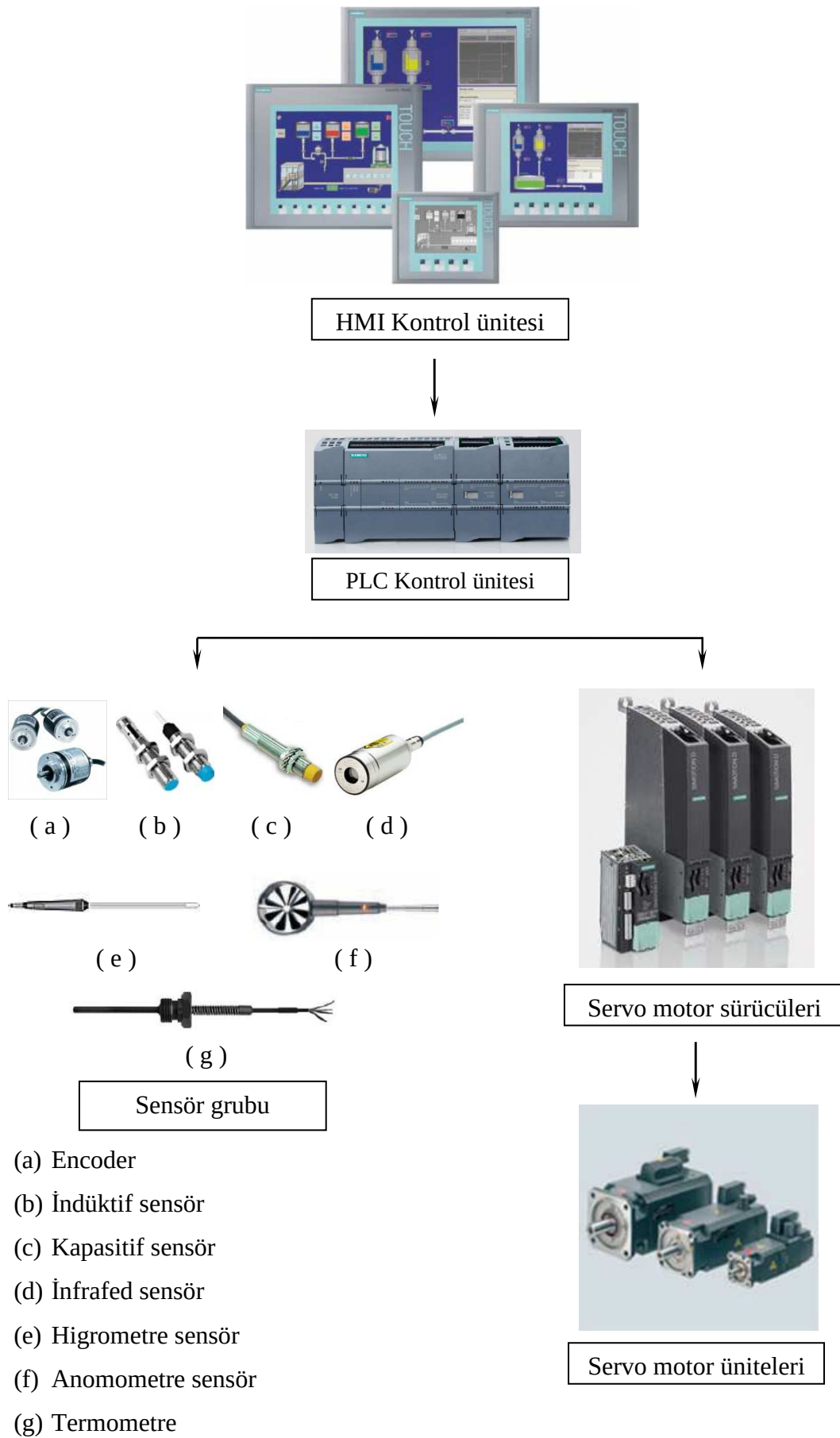


Şekil 4.20. Süzülme işlemi

Süzülme işleminden sonra seramik çamurla kaplanmış mum salkım 180° lik konumda seramik tozla kaplanmak üzere, toz yağmurlama ünitesinin içine girer. Burada kumlama işlemine tabii tutulur. Şekil 4.21’de seramik çamurun seramik tozla kaplanması görülmektedir.



Şekil 4.21. Seramik tozla kumlama işlemi



Şekil 4.23. Kontrol sistemi şeması

elektrik motoru, selonoid valf, lamba kontaktör, röle, servo motor gibi değişik yükleri amaca uygun olarak çalıştırmaktadır. PLC'lerde ayrıca matematiksel işlemlerle (toplama, çıkarma, çarpma, bölme, arttırma, azalma PID vb.) pals üretme işlemleride yapılabilmektedir [38].

PLC kontrol ünitesinde daha önceden belirlenmiş değerlerin değiştirilmesi ve makine ile insan makine ara yüzü (HMI) oluşturmak için bir dokunmatik panel kullanılması düşünülmüştür. Bu sayede operatör kontrolü, yapılan işlemler ve anlık değerlerin izlenmesi için daha geniş bir çözüm oluşturulacaktır.

İnsan-makine ara yüzü ve PLC nin yardımıyla makinenin sahip olduğu sensör ve motorlar kontrol edilmektedir. Kontrol işlemi, makinenin çalışma mantığına uygun bir program yazılmasıyla gerçekleşmektedir. Oluşturulacak programın ara yüzü, HMI panelin alındığı firmanın yazılımıyla iç içe geçmiş bir tablo ekranı oluşturulmasıyla gerçekleşir. Tablolarla verilerin izlenebildiği, izin verilen çalışma değerlerinin girildiği makinenin çalıştırılıp durdurulduğu, modüllerin tek başına kontrol edildiği kısımlar yapılabilmektedir. Ekranlar genellikle dokunmatik olup, kenarlarında düğmeli olan kısımların bulunduğu modeller olmakla beraber, her üretici firmanın oluşturduğu çok çeşitli modellerde mevcuttur. Makinenin kontrol programı ise PLC programlarının yazılmasında kullanılan herhangi bir dil olabilmektedir. Ara yüz programında oluşturulmuş veri giriş alanları ve butonlar PLC programıyla birleştirilerek, tasarımı yapılan makinenin çalışması sağlanabilir.

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında hassas döküm için çeşitli literatür taramaları yapılmış, konu hakkındaki proses süreçleri, proseslerin detay gerektiren aşamaları ve hassas döküm için gerekli olan seramik kalıbın oluşturulmasında, gereken makineler incelenmiştir.

Bu kapsamda hassas dökümde seramik kalıp oluşturmak için gerekli ihtiyaçlar belirlenmiş ve bu ihtiyaçlar doğrultusunda, bir makine tasarımı geliştirilerek makinenin ana yapısı ve ihtiyaçları, imalatı için CAD ortamında ön tasarım çalışması, çalışma şekli ve makinenin oluşturulması için gerekli komponentlerden bahsedilmiştir.

Tasarım için hassas döküm prosesinin detayları incelenmiş, prosesin her aşamasında uygulanması gereken detaylardan bahsedilmiştir. Bu sayede hassas dökümünde döküm yapılabilmesi için, seramik kalıp oluşturma aşamaları ve diğer süreçler hakkında geniş bilgi verilerek, hassas dökümün prosesi hakkında detaylı bir kaynak oluşturulmuştur.

Tasarlanan makinenin yapısı çizim olarak gösterilmiş olup, önemli detay kısımları verilmiştir. Hazırlanan tasarım, kısımlara ayrılarak anlatılmış, her kısım detaylı olarak çalışmasından bahsedilmiştir. Prototip imalat için tasarlanan kısımların çalışma verilerinden bahsedilmiş olup imalat için, ön bilgiler verilmiştir.

5.1. Öneriler

Bu çalışma hassas döküm tekniğinde seramik kabuk oluşturulması ve bu işlemin makineye uyarlanması hedeflemiştir. Bu nedenle yazılan bölümlerde konu ile ilgili detaylardan mümkün olduğu kadar bahsedilmiştir. Bu tez konusu üzerine sonraki çalışmalar için;

- Hassas döküm tekniğindeki proses ve uygulama teknikleri genişletilerek daha geniş bir kaynak oluşturulması,

- Hızlı kuruma özelliklerine sahip bir seramik çamurun geliştirilmesi,
- İnfrared kurutma fırının özelliklerinin geliştirilerek verimliliğinin araştırılması,
- Seramik kalıp makinesi tasarımı için bir kontrol ünitesi geliştirilmesi ve çalışma programının hazırlanması,

konuları üzerinde çalışılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Krishnan, M.V., Cire Perdue Casting in India, Kanak Publications, New Delhi, 1976.
- [2] Kuppuram, G., Ancient Indian Mining, Metallurgy and Metal Industries, Delhi, Ashish Singhal, 1989.
- [3] Hawthorne, J. G. & C. S. Smith, Theophilus. On Divers Arts. The Foremost Medieval Treatise on Painting, Glassmaking and Metalwork. Translated from the Latin with Introduction and Notes by John G. Hawthorne and Cyril Stanley Smith., New York: Dover Publications, 1979.
- [4] D., M., Cire Perdue, The Scientific Monthly, 58(2), 15, 1944.
- [5] Williams, D., Icon and Image, London, 1974
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Investment_casting, Ekim, 2010
- [7] MEGEP, Hassas Döküm, Ankara, 2006
- [8] Aran, A., Birsen yayın evi, Metal döküm teknolojisi, İstanbul, 1999
- [9] http://designmeet.com/index.php?option=com_content&task=view&id=54&Itemid=2, Ekim, 2010
- [10] Ocak, R. Ü., Dumlupınar üniversitesi, Makine mühendisliği bölümü, üretim ders notları, 2007
- [11] Metals Handbook, ASM, Casting, Vol. 15, Ohio, 1988
- [12] <http://www.stanford.edu/group/prl/documents/pdf/invstmnt.pdf>, Ekim, 2010
- [13] Joneja, A., Hong Kong University of Science and Technology, Department of Industrial Engineering and Logistics Management technical course notes,
- [14] MEGEP, Hassas Döküm Modellemeleri, Ankara, 2006
- [15] Yarlagaadda, P.K.D.V. and Hock T.S. Statistical analysis on accuracy of wax patterns used in investment casting process, Journal of Materials Processing Technology, 2003.
- [16] <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=WO2006135452&wo=2006135452&D> ISPL, Ekim, 2010
- [17] http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Ch11_Metal_Casting_Processes.pdf , Ekim, 2010
- [18] www.ransom-randolph.com, Ekim, 2010

- [19] U.S. Patent application publication, Slurry dip tank, US 3930462, 1976
- [20] U.S. Patent application publication, Tank screening device for use in automated cleaning of investment casting slurry tanks, US7708892 B2, 2010
- [21] U.S. Patent application publication, Constant level slurry tank, US 4.487.160, 1984
- [22] http://tr.wikipedia.org/wiki/Ak%C4%B1%C5%9Fkan_yatak , Ekim, 2010
- [23] Karen E. Wright and Barry H. O'Brien, Fluidized Bed Asbestos Sampler Design and Testing, INL, December 2007
- [24] <http://www.incastt.com/>, Ekim, 2010
- [25] www.ransom-randolph.com, Ekim, 2010
- [26] U.S. Patent application publication, Stucco tower and method, US200300728, 2003
- [27] <http://www.ufotr.com/Sayfalar.aspx?KatID=P3JRQ3ISR3K9D2ZVU3OLW4ACW4AC&SayfaID=P3JRQ3ISR3K9D2ZVU3OLW4D0W3SI>, Ekim, 2010
- [28] R&D Project Review of Food Industry Energy Research (FIER) Program, UC Davis, Infrared Drying of Rice to Improve Energy Efficiency and Disinfestation, Zhongli Pan, October 26, 2004
- [29] III. TMMOB Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi bildiriler kitabı, II.Cilt, MMO yayın no: 203/2, İzmir, 1997
- [30] <http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C4%B1z%C4%B1%C3%B6tesi> , Ekim, 2010
- [31] <http://www.ultraviyole.net/page4.html>, Ekim, 2010
- [32] Narang, B., Infrared and its application for drying coatings on webs, Aimcal fall technical conference, 2005
- [33] <http://www.elitmetalurji.com.tr/uretim.php?id=35>, Ekim, 2010
- [34] U.S. Patent application publication, Method and apparatus for drying investment casting, US 4114285, 1978
- [35] <http://www.shelmetcastings.com/advantages-investment-casting.html>, Ekim, 2010
- [36] www.investmentcastingwax.com/downloads/process2010.pdf, Ekim, 2010
- [37] Horáček, M., Brno University of Technology, CZ, Latest trends in investment casting technology,
- [38] Çetin, R., S7 – 200 lerle otomasyon, Ankara, Mayıs, 2007

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğrenimini İstanbul da tamamladı. Liseyi Avcılar Teknik Lisesinde Tamamladı, 1999 yılında Marmara ÜNİVERSİTESİ Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunu kazandı. 2001 yılında Marmara ÜNİVERSİTESİ Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunu makine bölümünü bölüm birincisi olarak bitirdi. Aynı yıl, Kocaeli ÜNİVERSİTESİ Makine Mühendisliği bölümünü kazandı. Kocaeli Üniversitesinden 2005 yılında mezun oldu. Çalışma hayatına 2005 yılında başladı. Komsan Kompresör ve Çınar Teknik firmalarında çeşitli pozisyonlarda ve projelerde çalıştı. En son çalıştığı pozisyon üretim müdürlüğüdür. Şu anda Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesinde, Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamlamaktadır.